UNIVERSITY OF TORONTO
3 1761 01294256 1

Bot
W

Werner, Othmar

Die Gewichtsänderungen
als Lebenszeiger der Pflanze.

Die Gewichtsänderungen als Lebenszeiger der Pflanze

Von

Dr. Othmar Werner

Privatdozenten für Anatomie und Physiologie der Pflanzen
an der Hochschule für Bodenkultur in Wien

Mit 12 Textfiguren, 5 Tabellen und 9 Tafeln

EMIL HAIM & CO.
Wien und Leipzig
1933

VERLAG EMIL HAIM & CO.
WIEN UND LEIPZIG.

BIOLOGIA GENERALIS

Internationales
Archiv für die allgemeinen Fragen der Lebensforschung.

Begründet von
L. LÖHNER, Graz — R. PEARL, Baltimore — V. RŮŽIČKA, Praha

Redigiert von
O. ABEL (Paläobiologie) — **L. ADAMETZ** (Züchtungsbiologie) — **O. PORSCH** (Botanik) — **C. SCHWARZ** (Physiologie)
J. VERSLUYS (Zoologie) — **R. WASICKY** (Pharmakognosie)
Wien

Unter Mitwirkung von
E. Abderhalden (Halle), **J. W. Amschler** (Wien), **E. Bataillon** (Montpellier), **G. R. de Beer** (Oxford), **J. Bělehrádek** (Brno), **V. H. Blackman** (London), **E. Bresslau** (Köln a. Rh.), **P. Buchner** (Breslau), **G. N. Calkins** (New York), **N. A. Cobb** (Washington, D. C.), **C. J. Cori** (Prag), **F. A. E. Crew** (Edinburgh), **Th. Dohnal** (Brno), **B. Dürken** (Breslau), **H. v. Eggeling** (Breslau), **G. Entz** (Tihany), **Rh. Erdmann** (Berlin), **F. Fitting** (Bonn), **Z. Frankenberger** (Bratislava), **F. Fuhrmann** (Graz), **J. v. Gelei** (Szeged), **P. Georgevitch** (Beograd), **P. M. Gjurić** (Zagreb), **O. Grütz** (Elberfeld), **A. Hanák** (Praha), **H. G. Harrison** (New Haven), **V. Hons** (Bratislava), **L. Karczag** (Budapest), **F. Knoll** (Prag), **J. Komarek** (Praha), **St. Kopeć** (Pulawy), **M. Körnicke** (Bonn), **P. Krüger** (Wien), **E. Melin** (Uppsala), **S. Métalnikov** (Paris), **B. Němec** (Praha), **Ch. Ogawa** (Kyoto), **H. Poll** (Hamburg), **H. Richter** (Dorpat), **O. Schmidtgen** (Mainz), **E. v. Skramlik** (Jena), **H. Stieve** (Halle), **O. Storch** (Graz), **J. Szabó** (Kaposvár), **K. Tischler** (Kiel), **A. Tschermak-Seysenegg** (Prag), **N. J. Vavilov** (Leningrad), **H. E. Voss** (Mannheim), **K. Weigner** (Praha), **W. M. Wheeler** (Boston, Mass.), **J. Wilczyński** (Wilno), **J. Wolf** (Praha), **M. M. Zawadowsky** (Moskau).

Band IX (1933), Jahresbezug . . . . . RM 84·—
Band I, III—VIII (1925, 1927—1932) . . . . . je RM 84·—
Band II (1926) . . . . . RM 94·50

Gesamtregister der Bände I—VIII (1925—1932) . . . RM 4·—

Bot
W

Die Gewichtsänderungen als Lebenszeiger der Pflanze

Von

Dr. Othmar Werner

Privatdozenten für Anatomie und Physiologie der Pflanzen
an der Hochschule für Bodenkultur in Wien

UNIVERSITY OF TORONTO LIBRARY

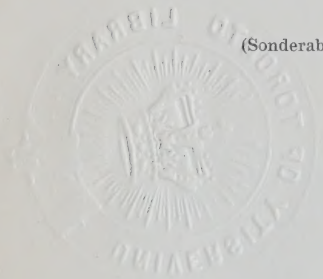
Mit 12 Textfiguren, 5 Tabellen und 9 Tafeln

EMIL HAIM & CO.
Wien und Leipzig
1933

29175 1 S. 33
30

Alle Rechte, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.

(Sonderabdruck aus BIOLOGIA GENERALIS, Vol. VII und IX.)



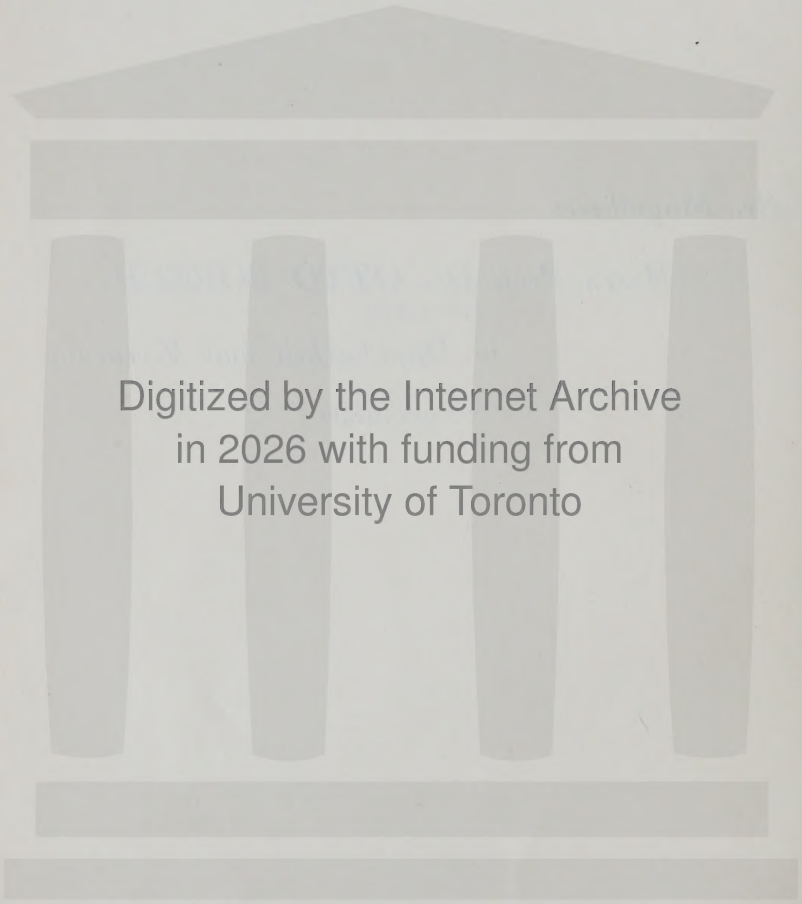
Druck: W. Hamburger, Wien VI., Mollardgasse 41.

Sr. Magnifizenz

Herrn Prof. Dr. OTTO PORSCH

in Dankbarkeit und Verehrung

gewidmet


Digitized by the Internet Archive
in 2026 with funding from
University of Toronto

https://archive.org/details/diegewichtsnderu00wern

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Vorwort

O. Werner

Die Maispflanze auf einem trockenharten Wurzelfaden voll wachsend. (BIOLOGIA GENERALIS, Bd. VII, S. 689–710.) Mit 5 Tafeln 1

O. Werner

Wachstum und Wasserbilanz der Pflanze im Spiegel ihrer Gewichtsänderungen. (BIOLOGIA GENERALIS, Bd. IX, S. 199–230.) Mit 4 Textfiguren, 3 Tabellen und 4 Tafeln 23

O. Werner und H. Steiner

Fortlaufende Körpergewichtsbestimmungen an einer rostkranken und einer gesunden Weizenpflanze. (BIOLOGIA GENERALIS, Bd. IX, S. 337–354.) Mit 8 Textfiguren und 2 Tabellen 55

Vorwort.

Die Körpergewichtsänderungen des aufnehmenden, lebenden Pflanzenindividuums während seiner Erdverbundenheit waren bisher nicht meßbar. Der Pflanzenphysiologie fehlten fortlaufende genaue Körpergewichtsbestimmungen am tätigen Individuum, während diese für die Tier- und Humanphysiologie ein wichtiges Mittel ihrer Forschungen sind. Die aussichtsreiche fortlaufende Wägung des aufnehmenden, wachsenden Pflanzenkörpers war wegen seiner Gebundenheit an das Substrat unmöglich.

Voraussetzung für fortlaufende Körpergewichtsbestimmungen war also, die starre Verbindung der Pflanze mit dem Boden zu beeinflussen, ohne dabei ihre natürlichen Aufnahms- und anderen Lebensfunktionen zu stören. Dieses Problem war grundsätzlich gelöst, als ich im Jahre 1931 entdeckte, daß die Maispflanze auf einem einzigen, sehr biegsamen Wurzelfaden volles Wachstum zeigt und in der Folgezeit fand, daß auch zahlreiche andere Pflanzen auf einem einzigen Wurzelfaden gut gedeihen und normal fruchten. Der Sproßteil solcher Pflanzen ist wachsend, aufnehmend, kurz in voller Lebenstätigkeit fortlaufend wägbar, wobei er eben dauernd durch den biegsamen, die Wägegenauigkeit nicht behindernden Wurzelfaden in Erdverbindung ist. Damit sind die Gewichtsänderungen der Pflanze im Sinne fortlaufender Sproßteil-Körpergewichtsmessungen unter möglichst natürlichen Verhältnissen bestimmbar.

Der Zeiger der Waage wird zum Zeiger des Lebens der Pflanze, er soll Wachstum und Stoffbilanz, die Einwirkung von Sonne und Schatten, wie auch von Krankheit und anderen Einflüssen vermerken.

Im Sommer 1932 gelang es mir, die reale Durchführung solcher Wägeversuche zu gestalten und die Gewichtsänderungen zur physio-

logischen Analyse von Wachstum und Wasserbilanz heranzuziehen. Diese beiden Vorgänge konnten mit einer von anderen Methoden nicht erreichbaren Exaktheit erfaßt werden.

Im Herbst 1932 ging ich gemeinsam mit Herrn Kollegen Doktor HANS STEINER, Assistenten an der Lehrkanzel für Phytopathologie der Hochschule für Bodenkultur, an eine Anwendung des Verfahrens auf dem Gebiete der Pflanzenkrankheiten. Es gelang uns erstmalig, den Krankheitsverlauf einer Pflanze gravimetrisch zu verfolgen.

Diese drei Etappen — Entdeckung der „Wurzelfaden"-Kultur — Erschließung der Körpergewichtsänderungen — eine Anwendung im Dienste der landwirtschaftlichen Praxis — finden ihren Ausdruck durch drei Arbeiten in BIOLOGIA GENERALIS, welche den Inhalt dieses Sonderdruckes bilden. Zur gesonderten Veröffentlichung bot die Hoffnung Anlaß, daß Ergebnisse und Zukunftsmöglichkeiten der hier niedergelegten Studien über den Kreis der Botaniker hinaus Forscher auf verschiedenen Gebieten und den Pflanzenfreund interessieren mögen. Herrn Verlagsbuchhändler EMIL HAIM danke ich für sein Entgegenkommen bei der Herausgabe des Sonderdruckes und die vorzügliche Ausstattung desselben.

Wien, im Jänner 1933.
Lehrkanzel für Botanik
der Hochschule für Bodenkultur.

Othmar Werner.

Die Maispflanze auf einem trockenharten Wurzelfaden voll wachsend.

Von

Othmar Werner.

Mit Tafel I—V.

Vorliegende Untersuchung verfolgt das Ziel, die Abhärtungsmöglichkeit junger Maiswurzeln gegen Trockenheit zu prüfen und die weitere Leistungsfähigkeit der abgehärteten Wurzeln zu erfassen. *Diese Zielsetzung führte mich zur Entdeckung der verblüffenden Leistungsfähigkeit eines einzelnen, gegen Trockenheit abgehärteten Wurzelfadens, über welche im folgenden berichtet werden soll.*

Resistenz junger Wurzeln gegen Trockenheit.

Junge Wurzeln sind bekanntlich in der Regel ungemein trockenheitsempfindlich. Jede beliebige, in feuchtem Keimbett wachsende junge phanerogame Pflanze zeigt, in normale Zimmerluft gebracht, in kürzester Zeit vollständiges Verwelken ihrer Wurzeln. Dieses rasche Verwelken erfolgt hier bei größerer Lufttrockenheit meist so rasch, daß das Einschrumpfen der Wurzeln leicht mit unbewaffnetem Auge verfolgt werden kann. Viel langsamer welken Stengel und Blätter des Keimlings. Diese genießen einen Verdunstungsschutz in Form eines Fetthäutchens, der Kutikula, während die junge Wurzel gegen Verdunstung fast gänzlich ungeschützt ist. Die älteren Teile des Wurzelsystems weiterentwickelter Pflanzen sind, gemäß ihrer histologischen Weiterentwicklung (sekundäres Dickenwachstum, Korkbildung usw.) meist mehr oder minder trockenhart, während die jungen Wurzelteile auch hier in trockener Luft rasch tödlich welken.

Jedoch sind auch Fälle trockenheitsunempfindlicher junger Wurzeln bekannt. Junge Wurzeln können an Sprossen von Sukkulenten in vollkommen trockener Luft oder in trockenem Boden zur Entwicklung gelangen und einen ausgiebigen Transpirationsschutz, dessen wesentlicher Teil eine Art von Kutikula ist, ausbilden (Werner, 1927). Voraussetzung für diese Entwicklungsmöglichkeit ist hier das Vorhandensein von Wasserspeichern im Inneren der Pflanze, welche das wasserverbrauchende Wachstum von Wurzeln bei Trockenheit der Umgebung vermitteln.

Nicht nur innere Wasserspeicher können die Entwicklung transpirationsgeschützter Wurzeln in trockener Umgebung vermitteln, sondern auch das nach der Eigenart des pflanzlichen Objekts schwankende Vermögen der direkten Zuleitung von außen aufgenommenen Wassers nach Orten am Pflanzenkörper, an welchen Stimmung zur Wurzelbildung herrscht. Ich werde demnächst über einen diesbezüglichen Fall berichten, in welchem bei *Cardamine pratensis*, also bei einer Pflanze feuchten Standortes, Bildung trockenharter Wurzeln erzwungen werden konnte. Die Adventivwurzeln an den Ausläufern von *Fragaria* und mehreren *Potentilla*-Arten, die aus Adventivwurzeln bestehende Stengelgalle von *Poa nemoralis* (Beyerinck, 1885) und andere Fälle zeigen auch schon unter natürlichen Verhältnissen Entwicklung von Wurzeln in verhältnismäßig trockener Luft bei nichtsukkulenten Pflanzen.

Woher rührt nun die offenbare Kluft zwischen in feuchter Umgebung zur Entwicklung kommenden Wurzeln, welche ungemein trockenheitsempfindlich sind, und trockenharten Wurzeln, welche in trockener Umgebung wachsen? Jede lebende junge Wurzel, welche normal mit Wasser in Berührung ist, gibt an dieses fettige Stoffe ab (Hansteen-Cranner, 1922). Fehlt jedoch der sich in Trockenheit entwickelnden Wurzel die Berührung mit Wasser, dann bleiben die fettigen Stoffe transpirationsschützend an und in der Wurzel liegen. Meine Befunde an den trockenharten Wurzeln von *Sedum reflexum* (Werner, 1927) machen die Richtigkeit dieses Gedankenganges wahrscheinlich.

Die mit Wasser in Berührung stehende Wurzel hat also keine Gelegenheit, einen Transpirationsschutz auszubilden, während ein solcher bei der in Trockenheit befindlichen Wurzel zwangsweise zur Ausbildung kommt. Der Lebensvorgang, welcher in der Abscheidung fettiger Stoffe besteht, läuft aber in beiden Fällen weiter.

Dem hier gesteckten Ziel gemäß, die Abhärtungsmöglichkeit junger Wurzeln gegen Trockenheit zu prüfen, versuchte ich, rasche, zwangsweise Ausbildung transpirationsgeschützter Wurzeln am Keimling zu erzielen.

Auch beim Keimungsprozeß können trockenharte Wurzeln zur Entwicklung kommen, wenn der Same über innere Wasserspeicher verfügt und schon in trockener Umgebung keimt, wie dies für *Crinum asiaticum* bekannt ist (Molisch, 1926).

In beschränktem Maße ist auch Bildung von einigermaßen trockenharten Wurzeln am Keimling möglich, wenn derselbe wenigstens von einer Wurzel her wasserdurchströmt ist, wie folgender Versuch lehrt. Ein bloß mit seiner Primärwurzel in ein enges Röhrchen mit Wasser tauchender Maiskeimling sendet einige, allerdings nach wenigen Tagen von der Spitze her vertrocknende Adventivwurzeln in feuchtigkeitsarme Luft, in welcher die Wurzeln eines frei aufgehängten Maiskeimlings in wenigen Stunden welken. Am Keimling erfahren also nur jene Wurzeln Weiterentwicklung, welche dauernd mit Wasser in Berührung sind. Der Keimling besitzt eben in der Regel weder bedeutende innere Wasserspeicher noch auch stärkere Neigung, Bildungssaft an Wurzeln abzuleiten, welche längere Zeit kein Wasser aufnehmen. Aus diesen Gründen mußten Versuche, völlig in trockene Luft ragende Wurzeln am Keimling zu erzielen, scheitern.

Von vollem Erfolg waren hingegen Versuche begleitet, größere Strecken von Keimlingswurzeln, welche mit Spitzenteilen in Wasser tauchten, in kurzer Zeit an trockene Luft zu gewöhnen. Ein Vorversuch soll über das Wesen der Abhärtung orientieren: Ein in Wasserkultur wachsender Maiskeimling, dessen bis 10 cm lange Wurzeln vollständig in Wasser tauchten, wird in Zimmerluft so weit gehoben, daß seine längste Wurzel bloß 3 cm tief in Wasser taucht, und in dieser Stellung festgehalten. Nach wenigen Stunden ist die Luftstrecke der aus dem Wasser gehobenen Wurzel geschrumpft und tot, trotzdem ihr Spitzenteil in Wasser tauchte. Ganz anders fällt der Versuch aus, wenn das Heben der Wurzel allmählich, durch einige Tage hindurch bewerkstelligt wird: Ein keimendes Maiskorn mit 4 cm langer Primärwurzel wird in geeigneter, allmähliche Hebung erlaubender Weise in Wasserkultur gebracht, so daß die Wurzel zunächst ganz in Wasser taucht. Wird nun der Keimling täglich um etwas weniger als dem Zuwachs der Wurzel entspricht, so gehoben,

daß eine immer größer werdende basale Wurzelstrecke der Zimmerluft ausgesetzt ist, so erweist sich diese bis 10 cm lange Wurzelstrecke als trockenhart und das Eintauchen einer 3—5 cm langen Spitzenstrecke einer einzigen Wurzel genügend, um das Leben der ganzen Keimlingspflanze zu fristen.

Methodik der Abhärtung von Keimlingswurzeln.

Für die sichere Erzielung von Keimlingsserien mit trockenharten Primärwurzeln ergab mir der folgende Versuchsgang die besten Ergebnisse:

Zum Versuch eignen sich auf feuchtem Filterpapier keimende Maiskörner, deren Primärwurzel 2—3 cm lang ist. Diese werden auf einer Wasserkulturapparatur, welche das Heben der Keimpflanzen ermöglicht, ausgesetzt. Eine mir bewährte Apparatur (Taf. IV, Fig. 11) besteht aus einer Bank mit einem Erlenmayerkolben, an dessen unterer Tubulierung 5 Glasrohr-T-Stücke mittels Schlauchverbindungen hintereinander kommunizieren. Das letzte T-Stück trägt ein Schlauchstück mit Quetschhahn. Der Erlenmayerkolben wird so mit Leitungswasser oder Nährlösung beschickt, daß alle T-Stücke bis zum oberen Rand mit Wasser gefüllt sind. Der Erlenmayerkolben gewährleistet in diesem kommunizierenden Gefäßsystem als Reservoir das praktisch ständige Gleichbleiben des Wasserspiegels in der waagrecht stehenden Anordnung. Der Quetschhahn ermöglicht leicht oftmaligen Wasserwechsel. Neben jedem T-Stück steht ein Holzstäbchen, auf welchem ein Korkplättchen verschieblich aufgesteckt ist. Durch ein Loch dieses Plättchens wird die Primärwurzel gesteckt und durch Verschieben des Plättchens ganz in die Öffnung eines wassergefüllten T-Stückes eingeführt.

Die mit 5 keimenden Maiskörnern beschickte Apparatur wird in einen warmen lichten Raum an einen möglichst sonnengeschützten Platz gebracht. Der Feuchtigkeitsgrad des Raumes kann Schwankungen unterworfen sein und wird so bemessen, daß die Wurzeln frei hängender Maiskeimlinge kein weiteres Wachstum zeigen und nach mehreren Stunden welken. Am besten eignet sich ein entsprechender Glashausraum oder ein fallweise auf ungefähr 20° C heizbarer Kulturkasten im Zimmer.

Die auf der Abhärtungsapparatur ausgesetzten Pflanzen werden täglich um einen Betrag gehoben, welcher dem Wurzelzuwachs

ungefähr entspricht, so daß also z. B. bei einem täglichen Wurzelzuwachs von 2 cm ein Wurzelspitzenteil von 2,5—4,5 cm während 24 Stunden zwischen zwei Morgens vorgenommenen Hebungen ständig in Wasser taucht. Der wachsende und wasseraufnehmende Wurzelspitzenteil wird so klein gewählt, um Seitenwurzelbildung zu unterdrücken. Innerhalb 5—8 Tagen lassen sich leicht Pflanzen mit 10—12 cm langer abgehärteter Wurzelstrecke erzielen. Ich erreichte in einem länger, von 13. Juni 1931 bis 10. Juli 1931, geführten Versuch eine maximale Wurzellänge von 78,5 cm; Tal. IV, Fig. 11, zeigt den Stand des Versuches am 3. Juli. Der Sproß bleibt während des Abhärtungsvorganges verhältnismäßig klein, da ständig nur eine kleine wasseraufnehmende Wurzelstrecke in Wasser taucht.

Zur weiteren Abhärtung der an Luft befindlichen Wurzelstrecke und zur Prüfung der Leistungsfähigkeit dieser werden nun derart vorbehandelte junge Maispflanzen so in geräumige Blumentöpfe mit Erde übertragen, daß auch wieder nur ein unterer Spitzenteil der Wurzel eingesetzt wird, während die früher in Luft befindlichen Wurzelstrecken auch jetzt wieder in Luft ragen. Bei kürzer dauernden Abhärtungen auf der Hebeapparatur (bis 10 Tage) können als Kontrollen normal in Wasserkultur angesetzte, gleichzeitig kultivierte Pflanzen genommen werden, deren Sprosse dann allerdings etwas kräftiger sind, da ihnen eine vollaufnehmende Wurzelfläche zur Verfügung stand. Bei länger dauernden Abhärtungen auf der Hebeapparatur empfiehlt es sich, wegen der Vergleichbarkeit der Sprosse Pflanzen aus der Versuchsserie selbst vollständig in Erde einzusetzen; diese bewurzeln sich bald mit zahlreichen Adventivwurzeln und geben also vergleichbare Kontrollexemplare für das weitere Wachstum ab.

Die in Erde eingesetzten Pflanzen werden zunächst einige Tage im früheren Versuchsraum belassen. Hinter geneigter Glasplatte in Erde kultiviert, zeigt das Ende abgehärteter Wurzeln bereits nach 2 Tagen, entsprechend den guten Wurzelverzweigungsbedingungen in Erde (Niklewski und Krause, 1929), Seitenwurzeln, welche nach einigen Tagen bereits ziemlich reichlich sind. Nun zeigt sich auch bei den bloß mit einer einzigen Wurzelbrücke versehenen Pflanzen morgens in feuchterer Luft Guttation und reges Sproßwachstum. Das Eintreten von Seitenwurzelbildung ist ein Zeichen des Gesundbleibens der lebenden Siebteile in der abgehärteten Wurzelstrecke, da nur diese den zum Wurzelwachstum nötigen Bildungssaft beför-

dern können (SCHUMACHER, 1930), während Guttation und Sproßwachstum ein Zeichen für die weitere Leistungsfähigkeit der Wasserleitungsbahnen in der Wurzelbrücke sind. Nun können die Pflanzen nach mehrtägigem Aufenthalt in einem trockeneren Raume ins Freiland gebracht werden.

Überraschenderweise bleiben die auf einem trockenharten, sich nicht verdickenden Wurzelfaden stehenden Pflanzen gegenüber ihren normal eingewurzelten Kontrollen bei weiterem Wachstum im Freiland zunächst wenig oder nicht zurück, um sie nach einigen Wochen im Wachstum fast oder ganz einzuholen oder sogar zu überholen.

Ähnliche Behandlung und wesentlich gleiche Kulturerfolge sind bei Weizen, Stecklingen von *Tradescantia viridis hort.* und *Hoplismenus variegatus hort.* nach meinen Erfahrungen möglich. Einige geprüfte, bis zum Blühen und Fruchten gebrachte dikotyle Pflanzen und eine Gymnosperme zeigen ähnliche Abhärtungsmöglichkeit, jedoch nachträgliche Verdickung der Wurzeln durch sekundäres kambiales Dickenwachstum. Es wird wahrscheinlich möglich sein, junge Wurzeln jeder beliebigen Pflanze an trockene Luft zu gewöhnen und eine einzige Wurzelbrücke, welche für Wasser- und Bildungssaftstrom voll leistungsfähig ist, als Entwicklungsgrundlage des Pflanzenkörpers einzustellen. Über die vorhin erwähnten Fälle und neu zu sammelnde Erfahrungen soll in späteren Mitteilungen berichtet werden.

Hier will ich eingehender die Ergebnisse eines vom 1. Mai 1931 bis 7. bzw. 14. Juli 1931 laufenden, bereits aufgearbeiteten Versuches mit 5 Maispflanzen mitteilen.

Die Wasser-Vorkultur wurde hier — wie auch bei den ersten Vorversuchen — noch in Eprouvetten vorgenommen, bei welchen der Wasserwechsel sich umständlicher gestaltet. Die Hebeapparatur war der oben beschriebenen ähnlich, jedoch an ein Eprouvettengestell angebaut und mit Holundermarkstücken statt Korkplättchen versehen. Als Abhärtungsraum diente ein auf ungefähr 20° C geheizter Kulturglaskasten, in welchem nur mäßige Feuchtigkeit bei dauernder Durchlüftung erhalten wurde. Frei aufgehängte junge Maiswurzeln zeigten nach einer Stunde bereits deutliches Welken.

Am 1. Mai 1931 wurde die Apparatur mit 5 keimenden, auf feuchtem Filtrierpapier in Glasschale herangezogenen Maiskörnern beschickt, deren Primärwurzeln 3—4 cm lang waren.

3 Stück wurden täglich bis 9. Mai um einen gewissen Betrag gehoben, während 2 Stück sowohl mit ihrer Primärwurzel als auch einigen sich entwickelnden Adventivwurzeln ganz in Wasser tauchten. Die Wasserkulturbehandlung dauerte vom 1. bis 11. Mai. An den letzten zwei Tagen wurden keine Hebungen mehr vorgenommen. Die Eprouvetten waren mit mehrmals während des Versuches gewechseltem Leitungswasser gefüllt. Die Dimensionen der Pflanzen, welche ich von nun an mit I, II, III, IV, V bezeichne, waren vor Übertragung in Erde am 11. Mai folgende:

Pflanze I: In Wasser befindlicher Teil der Primärwurzel 9 cm; in Luft befindlicher Teil der Primärwurzel 9 cm; Sproßlänge 8,5 cm.

Pflanze II: In Wasser befindlicher Teil der Primärwurzel 12 cm; in Luft befindlicher Teil der Primärwurzel 7,5 cm; Sproßlänge 10 cm.

Pflanze III: In Wasser befindlicher Teil der Primärwurzel 11 cm; in Luft befindlicher Teil der Primärwurzel 4,5 cm; Sproßlänge 8 cm.

Pflanze IV (Kontrolle): Länge des in Wasser befindlichen Wurzelsystems 15 cm; Sproßlänge 13 cm.

Pflanze V (Kontrolle): Länge des in Wasser befindlichen Wurzelsystems 12 cm; Sproßlänge 11 cm.

Die Sprosse sämtlicher Pflanzen waren frischgrün und turgeszent, bei den Kontrollen weiter entwickelt als bei den Versuchspflanzen. Seitenwurzeln waren in Wasser bereits bei I—III, besonders reichlich bei den Kontrollen IV und V angelegt. An dem abgehärteten Wurzelteil von Pflanze II waren zahlreiche kleine, 1—2 mm lange, bereits vertrocknete Seitenwürzelchen zu beobachten, welche bei Pflanze I und III nicht auftraten. Wahrscheinlich ist die vorübergehende Seitenwurzelbildung bei II im abgehärteten Wurzelteil darauf zurückzuführen, daß hier ein längerer Spitzenteil als bei I und III in Wasser tauchte, also die Wasserdurchströmung von II besser gewesen sein dürfte. Auf die gleiche Ursache ist wohl auch das bessere Erhaltenbleiben der Wurzelrinde bei II gegenüber I und III zurückzuführen.

Die Pflanzen wurden am 11. Mai in Blumentöpfe von ungefähr 16 cm Weite übertragen. Die Kontrollen IV und V wurden normal

in Erde gesetzt, während von I, II und III genau bloß die früher in Wasser tauchenden Spitzenteile der Primärwurzel in Erde gelangten. Für entsprechende Befestigung des Sprosses wurde gesorgt. Sämtliche Pflanzen kamen in das Kalthaus. Dort wuchsen sie in den nächsten Tagen bereits deutlich weiter und zeigten morgens Guttation. Taf. I, Fig. 1 und 2, zeigt die Pflanzen I und IV am 13. Mai einander gegenübergestellt.

Sämtliche Pflanzen kamen hierauf am 15. Mai in das Freiland unter leichtes Drahtgitter und wurden hier bis zum Versuchsende weiter kultiviert. Im Freiland waren die Pflanzen der Sonne voll ausgesetzt. Das Begießen wurde zweimal täglich vorgenommen. Während der Versuchszeit herrschte fast ununterbrochen schönes Wetter, so daß besonders an den heißen Tagen, an welchen die Lufttemperatur bei den Pflanzen nicht selten bis 33° C und mehr betrug, hohe Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Versuchspflanzen gestellt wurden.

Taf. I, Fig. 3, stellt die Pflanzen I und IV am 27. Mai dar, Taf. II, Fig. 4 und 5, zeigt — von links nach rechts — die Pflanzen I, V (Kontrolle), II und III am 17. Juni, Taf. III, Fig. 7, führt die am 7. Juli ausgetopften Pflanzen I und IV vor. Die Bilder überzeugen, daß das Wachstum der auf e i n e m trockenharten Wurzelfaden stehenden Maispflanzen sich zunächst beinahe ebenso rasch, dann durchaus ungefähr ebenso rasch, ja zum Teil sogar rascher, vollzog, wie das Gesamtwachstum der normal eingewurzelten Kontrollen.

Der Zustand sämtlicher Versuchspflanzen war während der ganzen Versuchsdauer gut. Die Blätter waren bis Anfang Juli frisch grün und bekamen bloß gegen Versuchsende, wahrscheinlich infolge verhältnismäßig zu kleinen Blumentopfes, bei Kontrollen und behandelten Pflanzen in gleicher Weise einen gelblichen Ton. Auch an den heißesten Tagen waren die Blätter von I, III, IV und V turgeszent, bloß die Blätter von Pflanze II, welche, wie aus späteren Bestimmungen hervorging, über einen niederen osmischen Wert verfügte, rollten in drückender Mittagshitze etwas ein. Auch beanspruchten die Pflanzen I, III, IV und V beim Gießen mehr Wasser als die Pflanze II. Dies deckt sich mit späteren Transpirationsbestimmungen.

Das Erscheinen weiblicher Blütenstände wurde nicht abgewartet, dieselben waren, wie ich mich bei Versuchsabschluß an

den Pflanzen II, III und V überzeugte, in den Blattscheiden verborgen bereits angelegt und 4—6 mm groß; für raschere Erzielung weiblicher Blüten wäre wohl Kultur in größerem Topf notwendig gewesen.

Von allen Pflanzen wurden männliche Blütenstände ungefähr gleichzeitig hervorgebracht; bei Pflanze II brach der Blütenstand am spätesten hervor, bei Pflanze I am frühesten, früher noch als bei den Kontrollen. Vom 4. Juli an stäubten die Blüten von I, III, IV und V gleichzeitig, jene von II erst vom 8. Juli an. Die Ährchenfülle und Pollenproduktion war bei den behandelten Pflanzen mindestens ebenso reichlich wie bei den Kontrollen. Bei mikroskopischer Untersuchung erwies sich der Pollen sämtlicher 5 Pflanzen als sehr gut entwickelt.

Die trockenharte Wurzelstrecke blieb während der ganzen Versuchsdauer von gleicher Dicke, wie besonders schön die Aufnahmen aus größerer Nähe zeigen: Pflanze I auf Taf. I, Fig. 1, Pflanze I auf Taf. III, Fig. 6 und 8 rechts, Pflanze II auf Taf. IV, Fig. 9, und Pflanze III auf Taf. IV, Fig. 10. Wie die spätere anatomische Untersuchung lehrte, blieb an den etwas dickeren Stellen der Wurzel, z. B. Basis der Wurzel bei Pflanze I (Taf. III, Fig. 6) und fast die ganze Wurzel der Pflanze II (Taf. IV, Fig. 9, die Wurzelrinde erhalten, während dies an der sehr dünnen Wurzelstrecke von Pflanze I. (Taf. III, Fig. 6) und Pflanze III (Taf. IV, Fig. 10) geschrumpft war.

Die Verzweigung der den Pflanzen I, II und III allein zur Wasseraufnahme zur Verfügung stehenden Primärwurzel im Boden war ungemein stark. Beim Austopfen dieser Pflanzen erwies sich die Erde von zahllosen Faserwurzeln genau so vollständig durchsponnen wie bei den Kontrollpflanzen IV und V. Es war von einem Wurzelfaden aus ein beinahe ebenso reiches Wurzelsystem[1]) entwickelt worden wie von den zahlreichen Adventivwurzeln der Kontrolle aus. Taf. III, Fig. 8, ermöglicht einen Vergleich der sorgfältig ausgewaschenen Wurzelmassen von Kontrollpflanze IV und behandelter Pflanze I. Bei der Beurteilung der Wurzelmasse ist zu berücksichtigen, daß durch die Stützwurzeln der Kontrollpflanze

[1]) Eine kleine Menge normalerweise sonst für etwas stärkere Bildung des Wurzelsystems verbrauchter Bildungsstoffe bleibt hier wohl zugunsten des Sproßwachstums im Sinne einer geringfügigen Assimilatenstauung zurück.

die Faserwurzelmasse gehoben und größer erscheint, während das Wurzelsystem der Kontrollpflanze durchwegs aus dünnen Wurzeln besteht und im Glase zusammensinkt.

Adventivwurzeln bis zu beträchtlicher Dicke wurden, wie aus den Tafeln ersichtlich ist, an den untersten Internodien der Pflanzen I, II und III zwar gebildet und hielten der Sonnenhitze und Trockenheit lange stand, erreichten jedoch den Boden nicht, so daß während der ganzen Versuchsdauer die Primärwurzel allein die einzige Verbindung des Sprosses mit dem Boden darstellte und Wasser nur durch diese Brücke beschafft werden konnte. Bei dieser Gelegenheit möchte ich betonen, daß beim Gießen darauf Rücksicht genommen wurde, kein Wasser in die Blattscheiden usw. gelangen zu lassen, so daß also auch mit einer Wasseraufnahme durch die Blätter nicht zu rechnen ist.

Die Sproßlänge der Pflanzen zu Versuchsende, gemessen von der Sproßbasis bis zur Blütenstandsspitze, betrug:

Pflanze I 53 cm (gemessen am 7. Juli).
Pflanze II 50,5 cm (gemessen am 14. Juli).
Pflanze III 42 cm (gemessen am 14. Juli).
Pflanze IV (Kontrolle) 53 cm (gemessen am 7. Juli).
Pflanze V (Kontrolle) 41,5 cm (gemessen am 14. Juli).

Auch diese Zahlen lehren, daß die Entwicklung von den bloß auf einem trockenharten Wurzelfaden stehenden Pflanzen mit der Entwicklung voll eingewurzelter Kontrollpflanzen vergleichbar ist.

Die Pflanzen I und IV einerseits und II, III und V anderseits wiesen vom Keimling an einige Unterschiede auf. I und IV entwickelten bei der Wasservorkultur gerötete Wurzeln und zeigten während der ganzen Weiterkultur rote Blattränder. Diese Anthokyanentwicklung fehlte II, III und V. Außerdem wuchsen I und IV stärker und wurden länger (s. obenstehende Tabelle) und etwas mächtiger als II, III und V. Zur Konservierung als Schauobjekte wählte ich daher I und IV, zu Meßobjekten und zur anatomischen Aufarbeitung die einander sehr ähnlichen Pflanzen III und V (Kontrolle) und die von diesen etwas verschiedene Pflanze II; letztere war länger (s. obenstehende Tabelle), dabei schmächtiger, trockenheitsempfindlich (s. oben S. 8) und später blühend (s. oben S. 9) als III und V.

Das am 14. Juli bestimmte Gewicht des Stengels mit Blattscheiden betrug für:

Pflanze II 21,2 g.
Pflanze III 25,7 g.
Pflanze V (Kontrolle) 25,6 g.

Zahlreiche an den parenchymatischen Zellen der Mittelrippe vergleichbarer Blätter an vergleichbaren Stellen vorgenommene plasmolytische Messungen ergaben für:

Pflanze II 0,15 bis 0,20 Mol KNO_3.
Pflanze III 0,30 bis 0,32 Mol KNO_3.
Pflanze V (Kontrolle) 0,28 bis 0,30 Mol KNO_3.

Bestimmungen der Gesamttranspiration wurden am 10. Juli für die Pflanzen II und V, am 13. Juli für die Pflanzen III und V vorgenommen. Durch Umhüllung mit geeignetem paraffinölgetränktem Papier wurde die Transpiration des Blumentopfes und der freien Erdfläche, wie Vorversuche ergaben, praktisch vollkommen ausgeschaltet. An beiden Bestimmungstagen schien fast den ganzen Tag über die Sonne. An dem Standort der Pflanzen herrschte nur schwache Windbewegung. Die Temperatur erreichte in der Umgebung der Pflanzen am 10. Juli 25° C, am 13. Juli 34° C. Bei dem Versuch am 10. Juli besaß sowohl Pflanze II als auch Pflanze V je sechs gut entwickelte gesunde Blätter von vergleichbarer Fläche. Bei dem Versuch am 13. Juli war die Blattmasse sowohl von III als auch von V durch Entnahme für andere Messungen bereits vermindert; beide Versuchspflanzen besaßen damals noch ganz das 1., 2. und 5. gesunde Blatt von oben und einige gesunde Blattreste; für Pflanze III betrug das Gewicht der nach dem Versuch abgetrennten gesunden Blattlaminateile 4,08 g, für Pflanze V (Kontrolle) 5,86 g.

Der Versuch vom 10. Juli ergab als Gesamttranspiration zwischen 8 Uhr 30 Min. und 16 Uhr 15 Min. für:

Pflanze II 42 g.
Pflanze V (Kontrolle) 68 g.

Der Versuch vom 13. Juli ergab als Gesamttranspiration zwischen 7 Uhr 30 Min. und 15 Uhr 15 Min.:

Pflanze III 52 g.
Pflanze V (Kontrolle) 65 g.

Im Verhältnis zum Blattgewicht transpirierte in diesem Versuch die auf einem Wurzelfaden stehende Pflanze III stärker (1,1fach), offenbar ihrem höheren osmotischen Wert entsprechend,

als die voll eingewurzelte Kontrolle V. Im Versuch vom 10. Juli zeigte die auf einem Wurzelfaden stehende Pflanze II erheblich schwächere Transpiration als die Kontrollpflanze V; dies ist wohl auf den niederen osmotischen Wert und damit geringes Wasserhebungsvermögen der Pflanze II zurückzuführen; dieses geringe Wasserhebungsvermögen stimmt auch mit dem oben bereits (S. 8 und S. 10) festgestellten Rollen der Blätter von Pflanze II an sehr heißen Tagen überein.

Bestimmungen der Transpiration abgeschnittener Blätter wurden am 12. Juli von 9 Uhr bis 15 Uhr bei sonnigem Wetter vorgenommen. Verwendung fand das 5. Blatt von oben der Pflanzen II, III und V. Die Blätter wurden unter Wasser abgeschnitten und gelangten in Gläschen mit Wasser, welches mit Paraffinöl überschichtet wurde. Das Blattgewicht betrug zu Anfang des Versuches für Pflanze II 1,55 g, III 1,58 g und V 1,64 g. Der Transpirationsverlust, der zeitweise im Freien in praller Sonne bei 34° C, zeitweise im ziemlich sonnigen Glashause bei 20—27° C stehenden Blätter war bei mehrmaligen Wägungen immer für II kleiner und für III größer als für die Kontrolle V. Ich gebe hier bloß den Gesamtwert für das von 9 Uhr bis 15 Uhr von jedem der abgeschnittenen Blätter abgegebene Wasser wieder:

Pflanze II 2,78 g.
Pflanze III 3,95 g.
Pflanze V 3,61 g.

Auf das Blattgewicht bezogen transpirierte also das Blatt der Pflanze II 0,73mal schwächer, jenes der Pflanze III 1,14mal stärker als das der Kontrolle V. Auch hier erfolgt also wieder, ebenso wie bei der Gesamttranspiration, bei der osmotisch schwächeren Pflanze schwächere und bei der osmotisch stärkeren Pflanze stärkere Wasserförderung. Hiebei ist es hier wie dort gleichgültig, ob die Transpiration einer bloß auf einem Wurzelfaden stehenden Pflanze oder die einer voll eingewurzelten Pflanze gemessen wird.

Bei den bloß auf einem längeren Wurzelfaden stehenden Pflanzen ist es möglich, diesen als flexible Verbindung benützend, den Sproß auf die Waagschale zu legen[2]). So gelingt es also, bei einem mit dem

[2]) Diese methodisch vielversprechende Möglichkeit will ich für Lösung verschiedener physiologischer Fragen in Zukunft benützen.

Wurzelsystem in voll leistungsfähiger Verbindung stehenden Sproß fortlaufend Gewichtsänderungen festzustellen. Ich gebe hier für die Pflanze II die Resultate mehrerer derartiger Messungen wieder. Am 6. Juli betrug das Sproßgewicht

10 Uhr	32,7 g
12 Uhr	31,5 g
14 Uhr 30 Min.	31,0 g
16 Uhr 30 Min.	31,5 g

Die Mittagstemperatur an diesem Tage betrug bei den fast den ganzen Tag über besonnten Pflanzen 32° C. Die Blätter rollten schwach während 2 bis 4 Uhr. Am 7. Juli betrug das Sproßgewicht

7 Uhr 30 Min.	33,3 g
14 Uhr 15 Min.	30,7 g

Mittagstemperatur 34° C bei voller Sonne und Wind. Schwaches Rollen der Blätter. Am 8. Juli betrug das Sproßgewicht

8 Uhr	33,3 g
14 Uhr 15 Min.	31,8 g
18 Uhr 30 Min.	32,5 g

Dieser Tag brachte merkliche Abkühlung und längere Bewölkung mit erst nachmittags reichlicher Sonne. Mittagstemperatur bloß 23° C. Im Gegensatz zu den beiden vorhergehenden Tagen war kein Rollen der Blätter zu bemerken. Aus vorliegenden Zahlen ist ersichtlich, daß Wasservorräte im Pflanzenkörper fallweise zur Deckung des Transpirationsverlustes in größerem oder geringerem Maße auch bei äußerlich an der Pflanze nicht sichtbaren Anzeichen (zum Beispiel Rollen der Blätter) herangezogen werden. Bei Pflanze III war leider der Wurzelfaden zur Ausführung verläßlicher Wägungen zu kurz. Bei Versuchen mit bloß auf einem Wurzelfaden stehenden Tradescantien, welche sich im Glashaus befanden, hier prachtvoll wuchsen und scheinbar gleichbleibende ausgezeichnete Turgeszenz aufwiesen, konnte ich ähnliche Schwankungen wie bei Mais ebenfalls messen. Hierüber soll erst in einer künftigen Mitteilung berichtet werden.

Zusammenfassend läßt sich aus den osmotischen und Transpirationsmessungen folgendes ableiten: Die auf einem, kaum ½ mm dicken Wurzelfaden stehende Maispflanze kann einen

niedereren oder einen höheren osmotischen Wert als die voll eingewurzelte Pflanze haben. Entsprechend der Höhe des osmotischen Wertes kann die Wasserabgabe der auf einem Wurzelfaden stehenden Maispflanze niedriger oder höher sein als die Wasserabgabe der voll eingewurzelten Maispflanze. Eine wesentliche Beeinflussung der Wasserversorgung der Maispflanze durch Einengung des gesamten Wasserstromes in einen einzigen Wurzelfaden ist also nicht feststellbar. Künftige, von mir geplante Versuche mit reinen Linien sollen bei verschiedenen Pflanzen an reichlicherem Material weitere Feststellungen erlauben.

Der anatomische Zustand der Pflanzen II, III und V (Kontrolle) ist in den vergleichbaren Organen weitgehend ähnlich. Stengelquerschnitte zeigen in allen Fällen vergleichbar reichliche Ausbildung von Leitbündeln und Leitungsbahnen in diesen; selbst das mechanische System ist bei den auf einem Wurzelfaden stehenden Pflanzen nicht wesentlich schwächer ausgebildet als bei der Kontrolle. Ein Querschnitt durch das fünfte Internodium weist bei Pflanze III ebenso wie bei der Kontrolle V einen Durchmesser von 9,5 mm, bei Pflanze II von 7 mm auf. Die Blattanatomie zeigt überhaupt keine auffälligen qualitativen oder quantitativen Unterschiede, die nicht im Bereiche der Variationsbreite liegen würden. Ebensowenig wie die physiologische Stimmung der Maispflanze wird also ihre anatomische Ausbildung durch Einengung von Wasser- und Bildungssaftstrom beeinflußt.

Als anatomisch quantitativ nicht vergleichbare Organe an den auf einem Wurzelfaden stehenden und voll eingewurzelten Maispflanzen seien die bei ersteren den Erdboden nicht erreichenden Adventivwurzeln und das bei den ersteren voll funktionierend erhalten bleibende und sich vergrößernde erste Internodium genannt; dieses interessante, eine von einer Endodermis umschlossene Stelle enthaltende Stengelgebilde ist bei der jungen Pflanze zwischen Scutellum und Koleoptile liegend zu erkennen (Avery, 1930) und erfährt bei den auf einem Wurzelfaden stehenden Pflanzen bedeutende Vergrößerung (auf Taf. IV, Fig. 9, das von dem noch erhaltenen Maiskorn nach links abzweigende Gebilde).

Die anatomische Untersuchung des trockenharten Wurzelfadens, welcher die einzige Wasserbrücke zum Sproß der Pflanze und die

einzige Bildungssaftbrücke für das Wachstum der reichlichen Wurzelverzweigungen im Boden darstellt, lehrte folgendes:

Weder der Wasserleitungsteil — das Hadrom — noch auch der Assimilatenleitungsteil — das Leptom — erfuhren eine Vergrößerung.

Sämtliche parenchymatische Zellen des Zentralzylinders der Wurzel verdickten ihre Wände sehr stark; diese weisen Schichtung und reichliche Tüpfelung auf.

Die Wurzelrinde blieb entweder gut erhalten und zeigt ebenso starke Verdickung, Schichtung und Tüpfelung wie die Zellwände des Zentralzylinders oder starb ab; in letzterem Falle war die gesamte Wurzelrinde entweder sehr stark zusammengesunken oder der ursprünglichen Dicke nach erhalten, Bildung größerer Interzellularen und verdickte, weniger deutlich geschichtete und getüpfelte Zellwände aufweisend.

Taf. V, Fig. 12, zeigt einen Querschnitt durch den abgehärteten Wurzelfaden von Pflanze II im unteren Drittel. Die Lumina der wasserleitenden Elemente sind durch rote Farbe, der assimilatenleitende Teil durch grüne Farbe hervorgehoben. Sämtliche parenchymatische Elemente des Zentralzylinders sind sehr stark verdickt, die Endodermiszellen weisen exzentrische Verdickung auf. Die Zellen der Wurzelrinde sind tot und verdickt, die Wurzelrinde führt große Interzellularen. Vergleichsschnitte durch junge Primärwurzeln an vergleichbarer Stelle unterscheiden sich nur durch das Fehlen der Verdickungen an den parenchymatischen Zellen und der großen Interzellularen in der Wurzelrinde, nicht hingegen in den Gesamtgrößenverhältnissen, der Größe des Hadroms und Leptoms. Nebenbei sei erwähnt, daß das Leptom an Querschnitten durch die trockenharte Primärwurzel zwischen den stark verdickten Parenchymzellen sehr schön hervortritt, während das Leptom an Querschnitten der jungen Wurzel, da seine Wände ungefähr die gleiche Dicke haben wie jene der umliegenden Parenchymzellen, nicht so leicht abzugrenzen ist.

Während an der jungen Primärwurzel nur die Wasserleitungselemente und Teile der Endodermis und Exodermis verholzt sind, gibt bei der trockenharten Primärwurzel der ganze Querschnitt mit Ausnahme des Leptoms die Holzreaktion mit Phlorogluzin-Salzsäure. Nur das Rindenparenchym gibt, wenn es geschrumpft ist, die Phlorogluzin-Salzsäurereaktion nicht.

Sämtliche verdickte Parenchymzellen des Zentralzylinders und der Wurzelrinde geben prachtvolle Rotorange- bis Rotfärbung mit Sudan III und sehr gut die Verseifungsreaktion mit Kalilauge, ihre Zellwände sind also als verfettet anzusehen.

Die Bildung sehr stark verdickter Zellen in diesem überreichlich bildungssaftdurchströmten Organ ist verständlich; die Verholzung der Zellwände könnte im Dienste einer Wasserbindung stehen (Porsch, 1926). Die starke Verfettung der Zellwände wird zweifellos transpirationsschützend wirken. Dieselbe könnte entwicklungsphysiologisch der normalen Abgabe fettiger Stoffe durch die Wurzel im oben angezeigten Sinne (S. 2) entsprechen. Leider verfügte ich noch nicht über genügend Material, um histochemisch die Ausgestaltungen während des Verlaufes der Trockenabhärtung der Primärwurzeln vergleichend zu verfolgen. Dies soll Gegenstand einer späteren Mitteilung sein. Hier teilte ich bloß den immerhin schon aufschlußreichen Zustand der trockenharten Primärwurzeln am Ende des Versuches mit.

Eine Gegenüberstellung der Querschnittsfläche von trockenhartem Wurzelfaden und Stengel wirkt grotesk. Taf. V, Fig. 13, zeigt einen Querschnitt durch den trockenharten Wurzelfaden von Pflanze III im unteren Drttel. Taf. V, Fig. 14, einen Querschnitt durch das fünfte Internodium derselben Pflanze bei gleicher Vergrößerung. Die Gesamtfläche des Stengels mit einem Durchmesser von ungefähr 9,5 mm ist etwa 470mal so groß als die Gesamtfläche der Wurzel mit einem Durchmesser von 0,44 mm. Die Weite der Gefäße in Stengel und Wurzel liegt in derselben Größenordnung[3]). Der Gesamtwasserleitungsquerschnitt der Wurzel entspricht also ungefähr dem Gesamtwasserleitungsquerschnitt von zwei mittelgroßen Gefäßbündeln des Stengels; ähnlich steht es mit dem Verhältnis der Siebteilquerschnitte. Die Geschwindigkeiten des Wasser- und Bildungssaftstromes müssen selbstverständlich in dem überaus engen Bett der Leitungsbahnen des Wurzelfadens eine enorme Erhöhung erfahren (Zahlen hierüber sollen in einer späteren Mitteilung beigebracht werden). Jedenfalls ist die Leitleistung des dünnen Wurzelfadens für Wasser und Bildungssaft für die Bilanz

[3]) Weiteste Gefäße im trockenharten Wurzelfaden zirka 0,07 mm Durchmesser, im 5. Internodium zirka 0,08 mm.

der Pflanze ebenso genügend wie die eben auch nicht größere Leitleistung des dicken Stengels. Ein 470facher Größenunterschied der Gesamtleitfläche (Leitbündel + Parenchym) ist für die Bilanz der Pflanze bedeutungslos; denn bloß auf einem Wurzelfaden stehende Pflanzen wachsen gleich gut und zeigen wesentlich gleichen Bau und wesentlich gleiche Leistungen wie voll eingewurzelte Pflanzen.

Das Leitungssystem zeigt in der normal eingewurzelten Pflanze offenbar starke Überdimensionierung. Diese hängt mit der Verteilungsart von Wasser und Assimilaten im Einklang mit der spezifischen Pflanzengestalt gewiß ebenso zusammen wie mit Speicherungsfunktionen, mechanischen Notwendigkeiten und anderen Faktoren. In großen Parenchymmassen zum Beispiel muß, da die Leitfähigkeit des Parenchyms für Wasser und Assimilate gering ist, ein dichtes Hadrom-Leptomnetz liegen, bei der Ausbildung mechanisch wirksamer Zellgruppen muß entsprechend viel Leptom zur nahen Heranleitung des Bildungssaftes für Zellwandverdickungen vorhanden sein, dem Wasserleitungssystem selbst wird, z. B. bei Bäumen, auch mechanische Funktion zukommen. Für die Leitungsbedürfnisse an Wasser und Assimilaten genügt aber grundsätzlich, wie vorliegende Untersuchungen zeigen, ein verhältnismäßig überaus kleiner Hadrom- bzw. Leptomquerschnitt[4]).

Der abgehärtete Primärwurzelfaden blieb während des Versuches gesund und lebend, wie aus den in ihm eingetretenen Zellwandverdickungen und aus den enormen Leistungen des in ihm befindlichen lebenden Leptoms bei der Baustoffbeschaffung für die Durchwurzelung des Bodens hervorgeht. Diese großen Leistungen eines kleinen Leptomquerschnittes sind wohl nur im Sinne der Druckstromtheorie von Münch (1930) verständlich, welche mit offenen Siebporen der lebenden Siebröhren rechnet, durch die mit Hilfe osmotischer Kräfte der Bildungssaft durchgepreßt wird.

In neuerer Zeit fanden Huber (1928) und Firbas (1931) eine gewisse Zunahme der relativen Leitfläche bei Bäumen bzw. bei

[4]) Dafür sprechen auch verschiedene Beobachtungen in der Natur. Durch Sturm gebrochene Äste zum Beispiel hängen oft nur mit kleiner Leitungsbrücke am Baumkörper und bleiben dabei lange Zeit unter hinreichender Wasserversorgung frisch.

Zwergsträuchern und krautigen Pflanzen gegen die Spitze des Pflanzenkörpers zu. Freilich handelt es sich hier um relative Leitflächen bloß des Wasserleitungssystems, das heißt um „den zur Versorgung von 1 g Frischgewicht oder 1 cm² Oberfläche ausgebildeten Holz-(Xylem-)Querschnitt", während bei vorliegender Untersuchung der absolute Querschnitt von Wurzelfaden und Stengel verglichen wurde. Der Unterschied, welchen Wurzelfaden und Stengel als relative Leitflächen darstellen, wäre noch ungemein viel größer (eingehende Berechnungen sollen später veröffentlicht werden). HUBER erblickt die physiologische Bedeutung der relativen Leitflächenvergrößerung gegen die Spitze des Pflanzenkörpers in einer Verringerung des Leitungswiderstandes für die oberen Blätter, während FIRBAS bereits die Möglichkeit „der Anlage eines Wasserspeichers im Leitungssystem" erwähnt, jedoch „nicht weiter erörtert". Diesbezüglich wäre im Hinblick auf vorliegende Versuche zu bedenken, daß eine Verringerung sogar der absoluten Leitfläche um das 470fache keine wesentliche Beeinflussung der Pflanze mit sich bringt. Daraus folgt, daß mit einem für das Kräftespiel in der Pflanze wesentlich wachsenden Leitungswiderstand auch bei sehr starker Einschränkung der Leitfläche nicht zu rechnen ist. Viel plausibler erscheint der von FIRBAS geäußerte Gedanke der Anlage eines Wasserspeichers im Leitungssystem durch Erhöhung der relativen Leitfläche. Historisch ist es interessant, daß bereits für STRASBURGER (1891, S. 354) diese Auffassung selbstverständlich war: „Die Erweiterungen, welche die Wasserbahnen in ihrem oberen Teil erfahren, können aber nur den Zwecken der Wasserspeicherung dienen. Diese Reservoire dürften bei gesteigerter Transpiration und herabgesetzter Wasserzufuhr mehr oder weniger geleert werden."

Für die Wasserleitungsbahnen kannte bereits STRASBURGER große Leistungsfähigkeit auch bei kleinem Querschnitt aus dem normalen Bau der Stammorgane verschiedener Pflanzen. Für die Maispflanze verlieh er 1891 (S. 354) dieser Tatsache in folgenden Worten Ausdruck: „Aus der starken Reduktion, welche die größeren Blattspurstränge in ihrem unteren Verlauf erfahren, folgt auch mit Notwendigkeit, daß die Wasserbahnen sich nach unten zu verengen .... So zeigt uns denn *Zea Mais* auf das augenscheinlichste, wie enge Bahnen für die Wasserbedürfnisse einer mit großen Blättern versehenen und kräftig transpirierenden Pflanze genügen."

Was STRASBURGER als enge Bahn erschien, ist immer noch riesig weit, verglichen mit der hier erzielten Einengung von Wasser- und Bildungssaftstrom der voll wachsenden Maispflanze in einen trockenharten Wurzelfaden.

Zusammenfassung.

Bei der Primärwurzel von Maiskeimlingen gelingt Trockenheitsabhärtung einer basalen Wurzelstrecke durch geeignete Wasservorkultur und darauf folgende Kultur in Erde.

Die abgehärtete basale Wurzelstrecke bildet im Versuch eine durch die Luft führende Brücke zwischen Erdwurzeln und Sproß.

Dieser Wurzelfaden ist die einzige Verbindung zwischen Erdwurzeln und Sproß.

Durch die während des ganzen Versuches gleich fadendünn bleibende Wurzelbrücke geht der ganze Wasserstrom für den Sproß und der ganze Bildungssaftstrom für das Wurzelsystem.

Der Vergleich mit voll eingewurzelten Vergleichspflanzen zeigt, daß das Sproßwachstum bei den auf einem trockenharten Wurzelfaden stehenden Pflanzen die gleiche Schnelligkeit aufweist wie bei jenen.

Das Wurzelsystem der auf einem trockenharten Wurzelfaden stehenden Pflanzen war bei Beendigung des Versuches fast ebenso groß wie das Wurzelsystem der voll eingewurzelten Vergleichspflanzen.

Osmotische und Transpirations-Bestimmungen ergaben, daß der Wasserhaushalt der auf einem trockenharten Wurzelfaden stehenden Pflanzen bei der vorhandenen starken Einengung des gesamten Wasserstromes keine wesentliche Änderung gegenüber der voll eingewurzelten Pflanze aufweist.

Im grob-morphologischen und histologischen Aufbau, in der Blütezeit und Pollenproduktion sind auf einem trockenharten Wurzelfaden stehende und voll eingewurzelte Pflanzen im wesentlichen einander vollständig ähnlich.

Der histologische Bau des trockenharten Teiles der Primärwurzel bleibt in bezug auf Qualität und Quantität der wasser- und assimilatenleitenden Teile während der ganzen Versuchsdauer gleich.

Die histologischen Veränderungen im Bau des trockenharten Teiles der Primärwurzel beschränken sich auf fallweise eintretendes

Schrumpfen der Wurzelrinde und Verdickungen der Parenchymzellwände. Neubildung von Zellelementen oder Gewebseinheiten findet nicht statt. Histochemisch sind starke Verholzungen (Wasserbindung) und gleichzeitige Verfettungen (Transpirationsschutz) der stark verdickten Zellwände auffallend.

Die Gesamtleitfläche des fünften Stengelinternodiums ist in einem Falle, welcher gewiß noch keinen Extremwert darstellt, ungefähr 470mal so groß als die Gesamtleitfläche des trockenharten Wurzelfadens. Ein dünner trockenharter Wurzelfaden von kaum ½ mm Durchmesser kann also grundsätzlich dieselben Wassermengen und ähnlich große Bildungssaftmengen leiten wie ein dicker, reich mit Leitungsbahnen versehener Stengel.

Literaturverzeichnis.

Avery, G. S. Jr., 1930. Comparative anatomy and morphology of embryos and seedlings of Maize, Oats, and Wheat. Botanical Gazette, *89*, S. 1.

Beyerinck, M. W., 1885. Die Galle von *Cecidomyia Poae* an *Poa nemoralis*. Botanische Zeitung, *43*, S. 305.

Firbas, F., 1931. Untersuchungen über den Wasserhaushalt der Hochmoorpflanzen. Jahrb. f. wiss. Botanik, *74*, S. 459.

Hansteen-Cranner, B., 1922. Zur Biochemie und Physiologie der Grenzschichten lebender Pflanzenzellen. Meldinger fra Norges Landsbrukshoiskole, 1, 2.

Huber, B., 1928. Weitere quantitative Untersuchungen über das Wasserleitungssystem der Pflanzen. Jahrb. f. wiss. Botanik, *67*, S. 877.

Molisch, H., 1926. Pflanzenbiologie in Japan. Fischer-Jena.

Münch, E., 1930. Die Stoffbewegungen in der Pflanze. Fischer-Jena.

Niklewski, B., und Krause, A., 1929. Über den Einfluß der Kolloidsubstanzen auf die Entwicklung des Wurzelsystems der Pflanze. Jahrb. für wiss. Botanik, *70*, S. 158.

Porsch, O., 1926. Zur physiologischen Bedeutung der Verholzung. Ber. Deutsch. Bot. Ges., *44*, S. 137.

Schuhmacher, W., 1930. Untersuchungen über die Lokalisation der Stoffwanderung in den Leitbündeln höherer Pflanzen. Jahrb. f. wiss. Botanik, *73*, S. 770.

Strasburger, E., 1891. Über den Bau und die Verrichtungen der Leitungsbahnen in den Pflanzen. Fischer-Jena.

Werner, O., 1927. Grenzentwicklungen sukkulenter Pflanzen. I.: Die Entwicklungsmöglichkeit von Wurzeln bei *Sedum reflexum L.* in trockener Luft. Biologia generalis, S. 355.

Tafelerklärungen.

Die mit I, II und III bezeichneten Maispflanzen stehen auf einem trockenharten Wurzelfaden, IV und V sind die voll eingewurzelten Vergleichspflanzen.

Tafel I.

Fig. 1: Pflanze I am 13. Mai 1931. Zirka $^1/_3$ nat. Gr.

Fig. 2: Pflanze IV am 13. Mai 1931. Zirka $^1/_3$ nat. Gr.

Fig. 3: Links Pflanze I, rechts Pflanze IV am 27. Mai 1931. Zirka $^1/_6$ nat. Gr.

Tafel II.

Fig. 4: Links Pflanze I, rechts Pflanze V am 17. Juni 1931. Zirka $^1/_9$ nat. Gr.

Fig. 5: Links Pflanze II, rechts Pflanze III am 17. Juni 1931. Zirka $^1/_9$ nat. Gr.

Tafel III.

Fig. 6: Unterer Teil von Pflanze I am 17. Juni 1931. Zirka ½ nat. Gr.

Fig. 7: Am 7. Juli ausgetopfte und in Alkohol konservierte Pflanzen, rechts I, links IV. Zirka $^1/_8$ nat. Gr. (Der oberste Teil des Blütenstandes von Pflanze I ist auf dem Bilde hinter einem Blatt verborgen und würde die Spitze des Blütenstandes von Pflanze IV überragen.)

Fig. 8: Unterer Teil mit Wurzelsystem von Pflanze I und IV. Zirka ¼ nat. Gr. Sonst wie bei Fig. 7.

Tafel IV.

Fig. 9: Unterer Teil von Pflanze II am 17. Juni 1931. Zirka nat. Gr.

Fig. 10: Unterer Teil von Pflanze III am 17. Juni 1931. Zirka nat. Gr.

Fig. 11: Abhärtungsapparatur mit jungen Maispflanzen. Zirka $^1/_{11}$ nat. Gr.

Tafel V.

Fig. 12: Querschnitt durch den trockenharten Wurzelfaden von Pflanze II im unteren Drittel. Vergr. 200fach. Von der Wurzelrinde ist nur ein Teil gezeichnet. Im Zentralzylinder sind die wasserleitenden Teile durch rote, die assimilatenleitenden Teile durch grüne Farbe hervorgehoben.

Fig. 13: Querschnitt durch den trockenharten Wurzelfaden von Pflanze III in der unteren Hälfte. Vergr. 10fach.

Fig. 14: Querschnitt durch das fünfte Internodium des Stengels von Pflanze III. Vergr. 10fach.

Wachstum und Wasserbilanz der Pflanze im Spiegel ihrer Gewichtsänderungen.

Von

Othmar Werner.

Mit 4 Textfiguren, 3. Tabellen und Tafel VI—IX.

Der Pflanzenphysiologie fehlen bisher fortlaufende genaue Gewichtsbestimmungen am Körper des normal tätigen Pflanzenindividuums. Die Tier- und Humanphysiologie hingegen benützt das Studium der Körpergewichtsänderungen des Individuums als eines der aufschlußreichsten Mittel ihrer Forschungen. Ähnliche Bedeutung müßte die Kenntnis der Körpergewichtsänderungen — verläßliche Methodik vorausgesetzt — für die Pflanzenphysiologie gewinnen.

Der Schaffung einer Methodik scheinen sich hier jedoch unüberwindliche Schwierigkeiten entgegenzustellen, während dort die Methodik mit Selbstverständlichkeit gegeben ist. Ein freier Tierkörper läßt sich ohne Lebensbeeinträchtigung in kurzen Zeitabständen oftmalig wägen, während ein starr erdverbundener Pflanzenkörper ohne Störung oder Zerstörung der Wurzeln nicht gewogen werden kann. Die lebensbeeinträchtigende oder lebensvernichtende Loslösung vom Boden verhindert hier Aufschlüsse über die normalen Gewichtsveränderungen des Körpers.

Dennoch gelang es mir, eine Methodik auszuarbeiten, welche genaue fortlaufende Wägungen am normal tätigen Pflanzenkörper ermöglicht. Solche Wägungen sind durchführbar, wenn statt der starren Verbindung der Bodenwurzeln mit den oberirdischen Organen eine bei voller Leitfähigkeit sehr biegsame Ver-

bindung erzwungen wird. Mit Hilfe einer solchen biegsamen Verbindung, von deren Erzielung und methodischen Benützung im folgenden berichtet werden soll, läßt sich der oberirdische Teil des Pflanzenindividuums — der Sproßteil der Pflanze — bei dauernder Erdverbundenheit ohne Lebensbeeinträchtigung wägen.

Wie ich (Seite 1 ff.) zeigen konnte, weist die Maispflanze auch dann volles Wachstum auf, wenn sie mit dem Boden dauernd nur durch einen einzigen dünn bleibenden Wurzelfaden verbunden ist. Solche gut gedeihende Versuchspflanzen sitzen nicht starr mit dem biegungsfest gebauten Stengel in der Erde, sondern bieten folgendes Bild: Aus dem reich durchwurzelten Boden erhebt sich ein kaum ½ mm dicker, 10 cm und darüber langer Wurzelfaden an die Luft, welcher in einen normal gebauten Sproß übergeht; dieser muß bloß durch eine Stütze festgehalten werden, welche die mechanische Verankerung im Boden zu ersetzen hat.

Meinen Untersuchungen zufolge (Seite 1 ff.) genügt hier die im Wurzelfaden gegenüber dem Stamm mehrhundertfach engere Leitfläche für Wasser- und Assimilatenstrom vollständig: Die auf einem Wurzelfaden befindlichen Maispflanzen zeigen nicht nur ähnliches Wachstum und ähnlichen Bau wie die normal eingewurzelten Kontrollpflanzen, sondern auch ähnliche Gesamttranspirationswerte, ähnliche osmotische Werte und ähnliche Transpirationswerte abgeschnittener Blätter. Die Verzweigungen des Wurzelfadens im Boden führen als Zeichen ausgezeichneter Siebröhrenleistungsfähigkeit zu ähnlicher Absorptionswurzelmasse wie bei den Kontrollpflanzen. Die Wurzelfadenpflanzen kommen auch innerhalb ähnlicher Zeiten wie die Kontrollen zur Blüte.

Aus meinen seither fortgesetzten noch nicht veröffentlichten bzw. noch nicht erschienenen[1]) Studien über Pflanzen, deren Saftströme sich in stark verengten Leitungsbahnen bewegen, sei als hier notwendige Ergänzung folgendes mitgeteilt: Auf bloß einem

[1]) Am 21. November 1931 berichtete ich der zoologisch-botanischen Gesellschaft in Wien in einem Lichtbildervortrag über meine Versuche und zeigte anschließend einen Teil derselben im Gewächshause der Lehrkanzel für Botanik der Hochschule für Bodenkultur. Mein kurzer Bericht ist in den Verh. zool.-bot. Ges. Wien unter dem Titel „Groteske Versuchspflanzen“ in Druck.

Wurzelfaden, dessen Länge ich bis auf 70 cm steigern konnte, gezogene Maispflanzen entwickelten Kolben und lieferten keimfähige Früchte; dies ist ein weiterer untrüglicher Beweis für die weitgehend normale Lebenstätigkeit solcher Versuchspflanzen. Hafer, Gerste, Weizen und andere Gräser wurden auf einem Wurzelfaden von oft kaum Schweinsborstendicke und bis über 10 cm Länge bei normaler Bestockung und sonstiger vegetativer Entwicklung ebenfalls bis zur Fruchtreife kultiviert. Auch für Pflanzen aus anderen Familien[2]) (z. B. Commelineen, Liliaceen) genügten die überaus engen Leitungsbahnen eines dünn bleibenden Wurzelfadens zum guten Gedeihen. Es ist nach meinen bisherigen Untersuchungen möglich, bei zahlreichen Pflanzen eine überaus biegsame und dabei gut leitfähige Verbindung zwischen Erdwurzeln und oberirdischen Organen herzustellen. Damit eröffnet sich ein weites Feld zur Untersuchung von Gewichtsänderungen am Pflanzenkörper.

Bereits vor einem Jahre (Seite 12 ff.) veröffentlichte ich einige über drei aufeinanderfolgende Tage sich erstreckende Gewichtsbestimmungen am Körper einer Maispflanze. Die Wägungen gestalteten sich damals ziemlich umständlich, da für jede Einzelwägung der auf Wurzelfaden befindliche Sproß von seiner Stütze losgebunden und auf die Waagschale gelegt wurde. Diese Art der Wägung erfordert größte Vorsicht, um Reißen des Wurzelfadens oder Sproßbeschädigungen zu vermeiden; auch bringt hier die Lageveränderung des Sprosses bei zahlreicheren aufeinanderfolgenden Wägungen wohl Funktionsstörungen der Pflanze mit sich. Aus diesen Gründen beschränkte ich mich damals auf 2—4 Wägungen pro Tag. Bereits in diesem Versuch konnte ich die Meßbarkeit des Wasserdefizits im Sproß durch Wägung feststellen. Gewichtsänderungen durch Wachstum waren in diesem Versuch nicht eindeutig

[2]) Nach meinen bisherigen Erfahrungen kommen bloß monokotyle Pflanzen, deren Wurzeln infolge Fehlens der Kambialtätigkeit kein Dickenwachstum zeigen, zur Erzielung dauernd dünner biegsamer Verbindungsbrücken zwischen Erdwurzeln und oberirdischen Organen in Betracht. Bei Dikotylen und Gymnospermen treten infolge Kambialtätigkeit beträchtliche Verdickungen ein (vgl. auch Seite 6).

feststellbar und auch nicht zu erwarten, da sich die Pflanze eben nach Entwicklung des männlichen Blütenstandes im Zustand fast völligen Wachstumsstillstandes befand. Ungefähr zu gleicher Zeit unternommene Vorversuche an gut wachsenden, auf Wurzelfaden gezogenen Pflanzen von *Tradescantia viridis* zeigten mir jedoch, daß sich auch die Gewichtsänderungen beim Wachstum durch Wägungen am Individuum messen lassen.

Bei meinen weiteren Versuchen zur Messung von Gewichtsänderungen am Pflanzenkörper bestanden nun in erster Linie die methodischen Forderungen, störende Lageveränderungen der Pflanze beim Wägen zu vermeiden und bequeme Wägbarkeit in kurzen Zeitabständen über längere Zeit hinaus zu erreichen.

Diese methodischen Forderungen wurden dadurch restlos erfüllt, daß der nur durch einen dünnen biegsamen Wurzelfaden erdverbundene Sproßteil der Pflanze an der Waagschale einer empfindlichen Balkenwaage mittels Bindfadens während der gesamten Dauer der Wägungen hängend befestigt blieb. Die Wägegenauigkeit wird bei geeigneter Lage des Wurzelfadens praktisch nicht oder doch nur im Sinne eines sehr kleinen konstanten Fehlers beeinträchtigt. Der Sproßteil der Pflanze hängt also an der Waagschale und ist ausgezeichnet wägbar, während er dennoch mit den Bodenwurzeln in dauernd voll leitfähiger biegsamer Verbindung steht.

Die Brauchbarkeit und genauere Handhabung der Methodik ergibt sich aus den im folgenden beschriebenen Versuchen an Maispflanzen:

Versuch I: Die Messung von Gewichtsänderungen am Körper einer kräftig wachsenden jungen Maispflanze.

Versuch II: Die Messung von Gewichtsänderungen am Körper einer blühenden Maispflanze.

Versuch I:
Die Messung von Gewichtsänderungen am Körper einer kräftig wachsenden jungen Maispflanze.

Ausgangsmaterial waren reife Körner aus dem unteren Drittel eines xenienfreien Maiskolbens der Sorte „Reismais".

Die Samen wurden 24 Stunden in Leitungswasser gequollen und gelangten hierauf ab 21. V. 1932 zur Keimung auf Filterpapier in

Glasschale. Als die Primärwurzel bei den Keimlingen eine Länge von 2—3 cm erreicht hatte, kamen 5 ungefähr gleich weit gediehene Keimpflanzen am 24. V. 1932 auf die von mir in einer früheren Arbeit beschriebene und abgebildete „Abhärtungsapparatur" (WERNER 1931, S. 4 ff. und Taf. IV, Fig. 11)[3]).

Die Abhärtungsapparatur fand in einem stark bis mäßig feuchten (70—100 % relative Luftfeuchtigkeit), bei stärkerem Sonnenschein schattierten Glashausraum Aufstellung. Nach etwas mehr als einen Monat dauernder Behandlung, am 27. VI. 1932, waren bei den 5 auf der Abhärtungsapparatur befindlichen Pflanzen Wurzellängen von ungefähr 50—85 cm bei Sproßlängen von ungefähr 8—15 cm[4]) erreicht. An diesem Tage erfolgte die Übertragung in Erde.

Zum Versuch wurden bloß zwei ähnlich entwickelte Pflanzen von ungefähr 55 cm Wurzellänge benützt und in Erde übertragen. Als Kulturgefäße dienten Blumentöpfe von ungefähr 21 cm oberem Durchmesser, 21 cm Höhe und einer Fassung von ungefähr 6½ kg feuchter Erde. Die eine Pflanze wurde als Kontrolle so in Erde gesetzt, daß ihr unteres Sproßende ungefähr 3 cm tief im Boden gebettet war; neben der ursprünglich erzielten langen Wurzel standen ihr also bald zahlreiche kräftige Adventivwurzeln zur Durchwurzelung des Bodens zur Verfügung. Die andere Versuchspflanze hingegen wurde folgendermaßen verkehrt hängend in Erdverbindung gebracht: Durch den Boden des Blumentopfes wurde seitlich ein Loch von ungefähr ½ cm Durchmesser gebohrt. Durch dieses Loch wurde das Ende der 55 cm langen Wurzel bis auf 15 cm Länge in den Blumentopf senkrecht zur Bodenfläche eingeführt und hierauf Erde unter Festhalten des Wurzelendes in seiner Lage in den mit Abzugscherben über dem gewöhnlichen Mittelloch versehenen Blumentopf eingefüllt. Die Pflanze hing nun an einem

[3]) Die Abhärtungsapparatur leitet die Abhärtung einer größeren basalen Keimwurzelstrecke — des späteren „Wurzelfadens" — an trockene Luft ein. Auf ihr wird zu diesem Zwecke der mit bloß einer Wurzel in Wasser tauchende Keimling täglich so weit gehoben und festgehalten, daß ständig nur ein ungefähr 2—4 cm langer Spitzenteil der Wurzel in Wasser taucht, während eine so immer länger werdende basale Strecke der Wurzel der Luft ausgesetzt ist. Bezüglich näherer Angaben und der genauen Arbeitsweise vgl. Seite 4ff.

[4]) Der Sproß bleibt auf der Abhärtungsapparatur, da hier ständig nur eine kurze Wurzelstrecke absorbierend in Wasser taucht, verhältnismäßig klein (vgl. WERNER 1931).

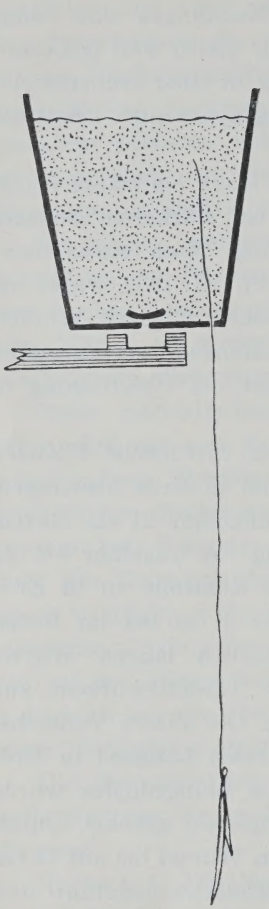


Fig. 1. Hängend kultivierte Wurzelfaden-Maispflanze unmittelbar nach dem Übertragen von der Abhärtungsapparatur in Erde. Schematisch. Nähere Erklärung im Text.

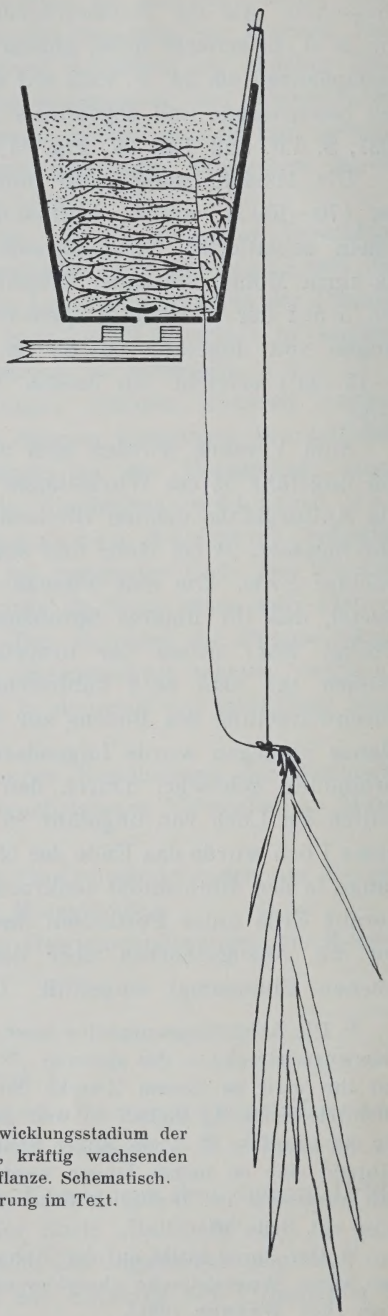


Fig. 2. Weiteres Entwicklungsstadium der hängend kultivierten, kräftig wachsenden Wurzelfaden-Maispflanze. Schematisch. Nähere Erklärung im Text.

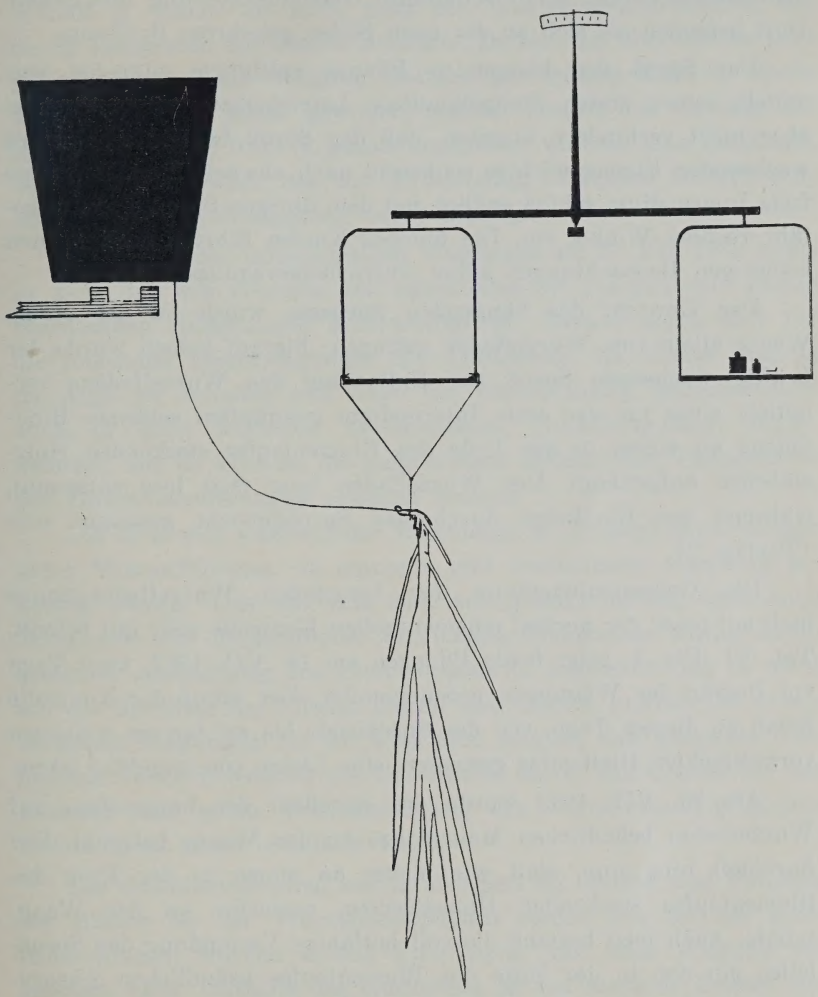


Fig. 3. Wägeanordnung zu Versuch I. Schematisch. Nähere Erklärung im Text.

40 cm langen Wurzelfaden aus dem seitlichen Loch an der Bodenfläche des geeignet auf der Unterlage aufgestellten Blumentopfes heraus (Textfig. 1).

Die Pflanzen wurden zunächst für eine Woche in demselben Raum, in welchem auch die Abhärtungsapparatur stand, aufgestellt.

Dann wurden sie in eine trocken gehaltene, selbst bei stärkster Sonneneinstrahlung nicht schattierte Glashausabteilung übertragen. Dort befanden sie sich an der nach Süden gekehrten Breitseite.

Der Sproß der hängenden Pflanze vollführte zunächst vermittels seines ersten Stengelknotens Aufrichtebewegungen, welche aber nicht verhindern konnten, daß der Sproß bald infolge seines wachsenden Eigengewichtes senkrecht nach abwärts hing. Das erste freie Internodium schloß endlich mit dem übrigen Sproß einen ungefähr rechten Winkel ein. Die übrigen Knoten führten nach meinen bisherigen Beobachtungen keine Aufrichtebewegungen aus.

Das Gewicht des hängenden Sprosses wurde in der ersten Woche allein vom Wurzelfaden getragen; hierauf jedoch wurde der kräftig wachsende Sproß zur Entlastung des Wurzelfadens vermittels eines um das erste Internodium geknüpften seidenen Bindfadens an einem in der Erde des Blumentopfes steckenden Holzstäbchen aufgehängt. Der Wurzelfaden hing jetzt lose entspannt, während der Bindfaden durch das Sproßgewicht gespannt war (Textfig. 2).

Die Gesamtentwicklung der hängenden Wurzelfadenpflanze hielt mit jener der normal eingewurzelten Kontrolle sehr gut Schritt. Taf. VI, Fig. 1, zeigt beide Pflanzen am 18. VII. 1932, zwei Tage vor Beginn der Wägungen nebeneinander. Der Sproß der Kontrolle besaß an diesem Tage, von der Sproßbasis bis zu der am weitesten vorgestreckten Blattspitze gemessen, eine Länge von ungefähr 60 cm.

Am 20. VII. 1932 wurde der Sproßteil der hängenden, auf Wurzelfaden befindlichen Maispflanze an der Waage befestigt. Der Sproßteil hing nun, statt wie bisher an einem in der Erde des Blumentopfes steckenden Holzstäbchen, nunmehr an der Waagschale. Auch jetzt bestand die voll leitfähige Verbindung des Sproßteiles mit den in der Erde des Blumentopfes befindlichen Absorptionswurzeln mittels des biegsamen Wurzelfadens weiter (Textfigur 3 und Taf. VII, Fig. 1—3).

Der Vorteil der verkehrt hängenden Anordnung des wachsenden Sproßteiles der Pflanze besteht hier darin, daß so die störungsfreie Aufhängung desselben an einem tragfähigen ausgewachsenen Organ, dem ersten Internodium, möglich ist. Insbesondere bleibt dadurch die Lage des Wurzelfadens bei allen Wägungen in einem konstanten, durch Längenwachstum nicht veränderlichen Bereich.

Die benützte Balkenwaage besitzt eine Empfindlichkeit von $\pm$ 0,005 g, welche sie auch trotz der Wurzelfadenverbindung des an ihr hängenden Sproßteiles bewährte. Da sich das Gewicht der Last jedoch während der Wägung vielfach geringfügig änderte, wurde meist auf 0,01 g genau gewogen, seltener konnte das Gewicht des Sproßteiles auf $\pm$ 0,005 g genau angegeben werden. Das konstante, sehr geringe Gewicht des zur Aufhängung dienenden Seidenfadens ist bei den Gewichtsangaben vernachlässigt.

Bereits bei den orientierenden Wägungen am 20. VII. 1932 zeigte es sich, daß das Gewicht des Sproßteiles oft raschen und häufig bedeutenden Änderungen unterworfen ist. Daraus ergab sich für die folgenden Dauerwägungen die Forderung, die Waage ständig im Auge zu behalten und halb- bis viertelstündig, gegebenenfalls auch in noch kürzeren Zeitabständen, Einzelwägungen vorzunehmen; nur so konnten die angestrebten verläßlichen Tageskurven der Gewichtsänderungen erhalten werden.

Die Erde war während der Wägungen im Zustand dauernd sehr guter Wasserführung, da morgens und nachmittags ausgiebig gegossen wurde. Das nur aus dem mit Abzugscherben versehenen Mittelloche des Blumentopfes abrinnende Gießwasser wurde durch geeignete Aufstellung des Blumentopfes so abgeleitet, daß es nicht auf den Sproßteil der Pflanze fließen oder tropfen konnte. Die orientierenden Wägungen am 20. VII. 1932 zeigten, daß steigende oder fallende Gewichtstendenz des Sproßteiles durch das Gießen bei der dauernd sehr guten Wassersättigung des verhältnismäßig großen Erdvolumens nicht beeinflußt wird.

Die Guttationstropfen, welche morgens an Spitzen und Rändern der Blätter bei der Wurzelfadenpflanze ebenso wie bei der Kontrolle hingen, wurden mittels Filterpapier vor jeder Wägung abgesaugt. (Die Tatsache des Guttierens ist ein weiterer Beweis für das normale Befinden der Wurzelfadenpflanze und zeigt, daß sich der Wurzeldruck auch durch die engen Wasserleitungsbahnen des Wurzelfadens hindurch geltend macht; die kleinen Tröpfchen bildeten sich nach dem Absaugen an denselben Stellen in wenigen Minuten nach. Am 21. VII. 1932 wurden 11 Austrittsstellen gezählt und durch Vergleich einer Wägung des Sproßteiles mit Guttationströpfchen und unmittelbar darauffolgender Wägung ohne solche das Gesamtgewicht der Guttationströpfchen mit 0,02 g bestimmt.)

Sichtbare Taubildung fand im Glashausraum nicht statt und kommt also als Fehlerquelle nicht in Betracht.

Um die Wägegenauigkeit durch stärkere Luftbewegung nicht zu beeinträchtigen und anderseits im Interesse der Versuchspflanze Luftstagnation zu vermeiden, wurden Lüftungsklappen und Türe des Glashausraumes nur so weit als unbedingt nötig und je nach Stärke der im Freien herrschenden Windbewegung wechselnd weit offen gehalten.

Die Dauerwägungen begannen am 21. VII. 1932 um 6 Uhr morgens und dauerten an diesem Tage bis 20 Uhr abends. Dieser Tag war fast durchaus trüb mit wenigen schwachen Sonnenblitzen nachmittags. Am folgenden Tag, dem 22. VII. 1932, hatte ich die günstige Gelegenheit, einen vorwiegend sonnigen Tag für die Dauerwägungen zu benützen; an diesem Tage wurde von 5 Uhr früh bis 20 Uhr abends gewogen. Die Tabellen 1 und 2 geben Aufschluß über die Wägungen an den beiden Tagen und über die gleichlaufenden Temperatur-, Luftfeuchtigkeitsbestimmungen sowie sonstige Beobachtungen.

Die Gewichtsänderungen des Sproßteiles der Maispflanze sind für den 21. VII. nach Tabelle 1 auf Taf. VIII, links, graphisch in einer Kurve dargestellt. Auf der Abszisse finden sich die Tagesstunden, auf der Ordinate das Gewicht des Sproßteiles in Gramm.

Die Kurve zeigt einen beträchtlichen Anstieg des Gewichtes tagsüber (6—20 Uhr) von 13,70 g auf 14,455 g, also eine Gewichtsvermehrung von 0,755 g. In Prozenten ausgedrückt, vermehrte der Sproßteil am 21. VII. tagsüber sein Körpergewicht um 5,5 % in 14 Stunden. Dies entspricht einer durchschnittlichen Gewichtsvermehrung um 0,39 % pro Stunde.

Die tagsüber eintretende Gesamtgewichtsvermehrung des Sprosses kann nur durch sein Wachstum erklärt werden. Entsprechend dem Umstand, daß die Luftfeuchtigkeit bei sehr guter Wasserführung des Bodens an diesem trüben Tage morgens und abends lange Zeit 100 % betrug, also zu diesen Zeiten zweifellos volle Wassersättigung des Körpers herrschte, ergibt sich aus der Differenz der ersten und letzten Gewichtsbestimmung des Tages der genaue Gewichtszuwachs durch Wachstum. Die Genauigkeit des Resultates wurde bei dieser Pflanze auch weder durch Organverlust, noch durch dauerndes

Welken oder Vertrocknen von Organen als denkbaren Fehlerquellen beeinflußt.

Der Anstieg der Gewichtskurve weist jedoch zweimal tagsüber eine beträchtliche Verzögerung und zweimal sogar Gewichtssenkung auf. Diese Verzögerungen der Gewichtszunahme und Senkungen des Körpergewichtes laufen, wie Tabelle I zeigt, den Änderungen der Außenfaktoren parallel. Die Gewichtssenkungen können ebenso wie die bedeutenden Verzögerungen der Gewichtszunahme nur mit Änderungen der Wasserbilanz in Zusammenhang gebracht werden. Änderungen in der Wachstumsintensität könnten ja nie zu Gewichtssenkungen führen, sondern könnten sich nur in Verzögerung, Beschleunigung oder Stillstehen der Gewichtszunahme äußern. Die Atmung ist quantitativ viel zu gering, um bei den hier in Frage kommenden kurzen Zeiträumen eine meßbare Gewichtssenkung hervorzurufen. Also bleiben ausschließlich Änderungen der Wasserbilanz, welche im Einklang mit Änderungen der Außenfaktoren erfolgen, zur Erklärung der Gewichtssenkungen übrig. Da auch die zwei bedeutenden Verzögerungen der Gewichtszunahme gleichsinnig im Einklang mit den Veränderungen der Außenfaktoren erfolgten, bleibt auch für sie nur der Zusammenhang mit Änderungen der Wasserbilanz.

Die erste Verzögerung der Gewichtszunahme dauert von 10 bis 11 Uhr. Während dieser Zeitspanne nimmt die Helligkeit des diffusen Lichtes zu und bei gleichzeitiger Temperatursteigerung sinkt die Luftfeuchtigkeit von 100 auf 99 %. Auch die Guttation hört in dieser Stunde auf.

Von 11—12 Uhr ist es dunkler, die Temperatur sinkt und die Kurve zeigt steileren Anstieg. Von 12—1 Uhr wird es bei Temperatursteigerung wieder heller und das Körpergewicht sinkt von 14,035 g auf 14,00 g, also um 0,035 g bzw. um 0,25 %. Damit ist das Wasserdefizit des Körpers bestimmt, welches dadurch eintritt, daß die Wasserabgabe des Sproßteiles größer ist als seine Wasseraufnahme. Bemerkenswert ist hiebei, daß bei einer Temperatursteigerung von bloß 0,8°, Sinken der Luftfeuchtigkeit um bloß 2% und Helligkeitssteigerung diffusen Lichtes das Wasserdefizit bereits nach 17 Minuten (12—12^{17} Uhr) quantitativ mit 0,015 g bestimmbar war.

Tabelle 1.

Wägungen des Sproßteiles einer auf Wurzelfaden befindlichen Maispflanze am 21. Juli 1932.

Zeitangaben: Stunde und Minute	Gewicht des Sproßteiles in Gramm	Temperatur in C (freistehendes Hg-Thermometer)	Bodentemperatur in C (Hg-Thermometer)	Relative Luftfeuchtigkeit (Haarhygrometer)	Licht- und Bewölkungsverhältnisse (direkte Beobachtungen) Anmerkungen
6	13,70	18,0°	17,2°	100%	Diffuses Licht, trüb, ganz bedeckt. — Guttation.
6^{30}	13,72	18,0°	17,2°	100%	Diffuses Licht, trüb, ganz bedeckt[1]). — Guttation.
7	13,75	18,0°	17,2°	100%	Wie vor.
7^{30}	13,78	18,3°	17,2°	100%	Wie vor.
8	13,81	18,7°	17,4°	100%	Wie vor.
8^{30}	13,85	18,8°	17,6°	100%	Wie vor.
9	13,88	19,0°	17,8°	100%	Wie vor.
9^{30}	13,92	19,3°	18,1°	100%	Wie vor.
10	13,945	19,5°	18,4°	100%	Diffuses Licht, etwas heller, ganz bedeckt. Guttation bedeutend schwächer.
10^{30}	13,96	19,8°	18,6°	100%	Diffuses Licht, wieder etwas heller, ganz bedeckt. — Keine Guttation mehr.
11	13,965	20,3°	19,1°	99%	Diffuses Licht, ziemlich hell, ganz bedeckt.
11^{30}	14,00	20,0°	19,5°	96%	Diffuses Licht, dunkler werdend, ganz bedeckt.
12	14,035	20,0°	19,7°	93%	Diffuses Licht, trüb, ganz bedeckt.
12^{17}	14,02	20,8°	19,8°	91%	Diffuses Licht, heller, ganz bedeckt.
12^{30}	14,01	21,1°	20,0°	87%	Wie vor.
13	14,00	21,8°	20,5°	84%	Wie vor.
13^{10}	14,03	21,2°	20,7°	85%	Diffuses Licht, dunkler werdend, ganz bedeckt.
13^{30}	14,06	21,0°	21,0°	83%	Diffuses Licht, trüb, ganz bedeckt.

[1]) Die Angaben über Licht- und Bewölkungsverhältnisse betreffen in allen Fällen die zwischen der vorhergehenden und jetzigen Zeitangabe liegende Zeitspanne.

Zeitangaben: Stunde und Minute	Gewicht des Sproßteiles in Gramm	Temperatur in C (freistehendes Hg-Thermometer)	Bodentemperatur in C (Hg-Thermometer)	Relative Luftfeuchtigkeit (Haarhygrometer)	Licht- und Bewölkungsverhältnisse (direkte Beobachtungen) Anmerkungen
14	14,08	21,5°	21,2°	87%	Wie vor.
14^{30}	14,11	21,1°	21,2°	87%	Wie vor.
14^{45}	14,09	21,8°	21,3°	85%	Diffuses Licht, ziemlich hell, Wolkendecke teilweise aufreißend.
15	14,06	22,2°	21,5°	80%	Wenige Sekunden schwacher Sonnenschein mit hellem diffusem Licht wechselnd.
15^{30}	14,13	23,0°	22,0°	78%	Diffuses Licht, trüb, ganz bedeckt.
16	14,165	22,9°	22,2°	78%	Trüb bis heller, sonst wie vor.
16^{12}	14,165	—	—	—	Heller, ganz kurze schwache Sonnenblitze.
16^{30}	14,195	21,9°	22,3°	84%	Diffuses Licht, trüb, ganz bedeckt.
17	14,255	20,5°	22,0°	93%	Diffuses Licht, sehr trüb, ganz bedeckt.
17^{30}	14,285	20,5°	21,5°	94%	Diffuses Licht, trüb, Wolken aufreißend.
18	14,31	20,5°	21,1°	97%	Diffuses Licht, Ausheiterung.
18^{30}	14,345	20,2°	20,8°	100%	Im Freien schwache Sonne, Pflanze im Schatten.
19	14,385	19,8°	20,4°	100%	Abnehmende Helligkeit, diffuses Licht.
19^{30}	14,415	19,0°	20,0°	100%	Dämmerung.
20	14,455	18,2°	19,6°	100%	Dämmerung.

Von 13—14^{30} Uhr steigt das Körpergewicht bei schlechterem Licht und Sinken der Temperatur wieder an. Bei steigendem Körpergewicht muß die Beziehung gelten: Wasseraufnahme > Wasserabgabe. Die Umkehrpunkte der Kurve zeigen Zeitpunkte an, für welche die Beziehung gilt: Wasseraufnahme = Wasserabgabe.

Von 14^{30}—15 Uhr ist das zweite Wasserdefizit des Tages von 0,05 g bei zunehmender Temperatur, abnehmender Luftfeuchtigkeit und zeitweiligem kurzen schwachen Sonnenschein zu verzeichnen.

Von 15—16 Uhr steigt das Körpergewicht offenbar infolge zunehmender Trübung trotz etwas ansteigender Temperatur.

Von 16—16^{12} Uhr hält sich das Körpergewicht bei Aufhellung und ganz kurzem Sonnenschein ungefähr auf gleicher Höhe (14,165 g). Für diese Zeit gilt also die Beziehung: Wasseraufnahme =Wasserabgabe.

Von nun an steigt das Körpergewicht bei abnehmender Tageshelligkeit, Temperaturabfall und Feuchtigkeitszunahme.

Der Endwert für das Gewicht des Sproßteiles aus Tabelle 1 gegenübergestellt dem Anfangswert von Tabelle 2 zeigt, daß über Nacht, 21. VII. auf den 22. VII., das Körpergewicht des Sproßteiles von 14,455 g auf 14,87 g, also um 0,475 g oder 2,9 % gestiegen ist. Dies ergibt eine durchschnittliche Gewichtssteigerung durch Wachstum von 0,32 % pro Stunde in der Nacht. Es fällt auf, daß in diesem Falle damit die durchschnittliche Wachstumsgeschwindigkeit am Tag (0,39 %) größer ist als in der Nacht (0,32 %). Dies könnte mit tieferen Nachttemperaturen zusammenhängen.

Die Tages-Gesamtgewichtszunahme am 22. VII., bestimmt aus der ersten (14,87 g) und letzten (15,77 g) Wägung der Tabelle 2, beträgt 0,90 g bzw. 6,1 % in 15 Stunden. Dies entspricht einer durchschnittlichen Gewichtszunahme von 0,41 % pro Stunde. Die Wachstumsgeschwindigkeit war also am 22. VII. größer als am 21. VII. Dies könnte mit den höheren Temperaturen, vielleicht auch der größeren Lichtmenge jenes Sonnentages (22. VII.) gegenüber den tiefen Temperaturen des Schattentages (21. VII.) zusammenhängen, könnte aber auch auf stärkerer Kohlensäureassimilation am Sonnentage beruhen, oder könnte schließlich, was mir das Wahrscheinlichste scheint, mit spezifischer zeitlicher Steigerung der Wachstumsgeschwindigkeit zusammenhängen.

Innerhalb von 24 Stunden, vom 21. VII., 6 Uhr morgens, bis 22. VII., 6 Uhr morgens, stieg das Körpergewicht durch Wachstum von 13,7 g auf 14,875 g, also um 1,175 g bzw. 8,6 %. Die durchschnittliche Gewichtsvermehrung durch Wachstum pro Stunde entspricht hier demnach 0,36 %.

Die der Tabelle 2 entsprechende Gewichtskurve des 22. VII. (Taf. VIII, rechts) weist zahlreiche Gewichtssenkungen durch Änderung der Wasserbilanz auf, welche, wie ein Vergleich mit Tabelle 2 lehrt, sämtlich dem Wechsel der Außenbedingungen ent-

Tabelle 2.

Wägungen des Sproßteiles einer auf Wurzelfaden befindlichen Maispflanze am 22. Juli 1932.

Zeitangaben: Stunde und Minute	Gewicht des Sproßteiles in Gramm	Temperatur in C (frei hängendes Hg-Thermometer)	Bodentemperatur in C (Hg-Thermometer	Relative Luftfeuchtigkeit (Haarhygrometer	Licht- und Bewölkungsverhältnisse (direkte Beobachtungen) Anmerkungen
5	14,87	16,8°	15,7°	100%	Diffuses Licht, ziemlich hell, leicht bewölkt. — Guttation.
5^{15}	14,865	17,1°	15,8°	100%	Wie vor.
5^{30}	14,87	17,3°	15,8°	100%	Wie vor.
6	14,875	17,9°	16,0°	100%	Zunehmende Helligkeit. — Guttation schwach. Sonst wie vor.
6^{30}	14,87	18,6°	16,5°	100%	Andauernd wie vor, jedoch keine Guttation mehr.
7	14,845	19,2°	16,9°	100%	Zeitweilig Sonne im Haus, Pflanze im Schatten.
7^{15}	14,86	19,2°	17,0°	100%	Dunklere Wolken vor der Sonne.
7^{30}	14,85	19,7°	17,5°	100%	Zeitweilig Sonne im Hause, Pflanze ständig im Schatten.
8	14,87	20,3°	18,2°	100%	Dunklere Wolken vor der Sonne.
8^{30}	14,87	21,3°	19,0°	90%	Diffuses helleres Licht, leichte Schleier vor der Sonne.
9	14,91	21,8°	20,0°	84%	Wechselnde Helligkeit, vorwiegend stärker bedeckt.
9^{15}	14,93	22,0°	20,5°	82%	Wie vor anhaltend.
9^{30}	14,91	22,9°	20,9°	78%	Schwache Sonne auf der Pflanze.
9^{45}	14,92	23,4°	21,6°	73%	Wie vor.
10	14,89	24,0°	22,5°	63%	Wie vor.
10^{15}	14,915	24,4°	23,3°	60%	Wie vor.
10^{30}	14,945	24,0°	24,0°	63%	Meist dunklere Wolken vor der Sonne.
10^{45}	14,91	25,7°	24,5°	54%	Schwache bis meist volle Sonne auf der Pflanze.

Zeitangaben: Stunde und Minute	Gewicht des Sproßteiles in Gramm	Temperatur in C (frei hängendes Hg-Thermometer)	Bodentemperatur in C (Hg-Thermometer)	Relative Luftfeuchtigkeit (Haarhygrometer)	Licht- und Bewölkungsverhältnisse (direkte Beobachtungen) Anmerkungen
11	14,81	27,4°	25,5°	45%	Fast ständig volle Sonne auf der Pflanze.
11^{15}	14,78	27,9°	27,0°	44%	Wie vor.
11^{17}	14,80	—	—	—	Auf 2 Minuten Sonne hinter dunklen Wolken, ab 11^{19} wieder volle Sonne.
11^{30}	14,77	29,5°	27,7°	40%	Fast ständig volle Sonne auf der Pflanze.
11^{45}	14,85	29,5°	28,9°	40%	Stärkere Bedeckung und volle Sonne wechselnd.
12	14,83	30,6°	29,4°	38%	Fast ständig volle Sonne auf der Pflanze, nur selten und kurz durch kleine, weiße Wolken verdeckt.
12^{15}	14,80	30,7°	29,9°	37%	Wie vor.
12^{30}	14,775	31,3°	30,2°	34%	Wie vor.
12^{40}	14,88	—	—	—	Wie vor.
12^{45}	14,87	30,4°	30,5°	34%	Wie vor.
13	14,86	30,9°	31,0°	35%	Wie vor.
13^{15}	14,92	32,1°	31,6°	32%	Wie vor.
13^{30}	14,86	31,9°	32,0°	32%	Wie vor.
13^{45}	14,855	31,2°	32,4°	33%	Wie vor bis 13^{40}, dann Sonne hinter aufziehenden Wolken manchmal verschwindend.
14	15,1	28,4°	32,5°	39%	Sonne dauernd hinter dunklen Wolken, stark abnehmende Helligkeit.
14^{08}	15,15	—	—	—	Wie vor.
14^{15}	15,13	28,3°	32,0°	43%	Ab 14^{09} Sonne zeitweise kurz scheinend,
14^{30}	15,08	29,2°	31,6°	37%	Wie vor bis 14, dann Pflanze dauernd voll besonnt.
14^{45}	15,06	29,9°	31,4°	37%	Wie vor.
15	15,12	29,3°	31,2°	34%	Wie vor.
15^{15}	15,125	28,7°	31,2°	36%	Wie vor.

Zeitangaben: Stunde und Minute	Gewicht des Sproßteiles in Gramm	Temperatur in C (frei hängendes Hg-Thermometer)	Bodentemperatur in C (Hg-Thermometer)	Relative Luftfeuchtigkeit (Haarhygrometer)	Licht- und Bewölkungsverhältnisse (direkte Beobachtungen) Anmerkungen
15^{30}	15,13	28,8°	31,1°	41%	Wie vor.
15^{45}	15,18	28,1°	31,1°	38%	Volle bis schwächere Sonne.
16	15,16	28,6°	31,0°	31%	Wie vor.
16^{15}	15,27	27,2°	31,0°	43%	Schwächere Sonne.
16^{30}	15,26	27,6°	30,6°	48%	Schwächere bis meist volle Sonne.
16^{45}	15,35	26,6°	30,2°	54%	Schwächere Sonne.
17	15,395	26,3°	29,5°	59%	Wie vor, einigemal bei Bedeckung diffuses Licht.
17^{30}	15,485	25,3°	28,3°	74%	Im Freien schwache Sonne u. diffuses Licht wechselnd, Pflanze v. nun ab im Schatten.
18	15,53	25,0°	27,4°	74%	Im Freien Sonne.
18^{30}	15,595	24,3°	26,5°	82%	Im Freien Sonne und diffuses Licht wechselnd.
19	15,66	22,9°	25,3°	79%	Schwächer werdendes Tageslicht.
19^{30}	15,71	22,5°	24,3°	92%	Dämmerungsbeginn.
20	15,77	21,8°	23,2°	100%	Dämmerung.

sprechen. Besonders starke Gewichtssenkungen hat volle Besonnung nach Genuß diffusen Lichtes oder schwachen Sonnenlichtes zur Folge; dann ist eben die Wasseraufnahme bedeutend kleiner als die steigende Wasserabgabe und ein bedeutendes Wasserdefizit des Sproßteiles zu verzeichnen. Die Kurve besitzt im ganzen 12 Maxima und 13 Minima.

Im Teil der Kurve von 5—9^{30} Uhr entspricht das Absinken und Wiederansteigen des Körpergewichtes im wesentlichen dem Wechsel von hellerem und trübem diffusen Licht. Jedoch zeigt der Kurvenverlauf von 9^{45}—10^{15} Uhr, verglichen mit den Angaben der Tabelle 2, daß das Absinken des Gewichtes bei stetig steigender Temperatur, sinkender Luftfeuchtigkeit und ständiger Sonnenbestrahlung durch Regulationen der Pflanze gebremst und sogar Anstieg erreicht werden kann; die Kurve fällt hier zu-

nächst und steigt dann. Als Regulationen kämen in Betracht: Erhöhung der Wasseraufnahme durch Saugkraftsteigerung, Erschwerung der Wasserabgabe durch Steigerung des osmotischen Wertes und vielleicht Veränderungen der Spaltöffnungsweite.

Besonders interessant ist der Eintritt voller Besonnung der Pflanze um 10^{30} Uhr. Das Körpergewicht fällt sprunghaft bis zum absoluten Minimum der Kurve um 11^{30}, nur von 11^{15}—11^{17} durch einen Anstieg des Körpergewichtes unterbrochen, welchem Bedeckung der Sonne durch dunkle Wolken während dieser zwei Minuten parallel geht. Der Gesamtabfall von 10^{30}—11^{30} beträgt 0,175 g, also 1,17 % des Körpergewichtes in einer Stunde.

Aus dem weiteren Verlauf der Kurve sei dann der rasche Gewichtsanstieg von 13^{45}—14^{08} hervorgehoben, welcher mit Bedeckung der Sonne durch rasch aufziehende dunkle Wolken parallel geht. Die starke Bedeckung hat, wie aus Tabelle 2 ersichtlich, starken Temperaturabfall, ja sogar Abfall der Bodentemperatur, welche auf kleinere Schwankungen der Lufttemperatur nicht reagiert, und Luftfeuchtigkeitsanstieg zur Folge. Das Körpergewicht stieg in diesen 23 Minuten von 14,855 g auf 15,15 g, also um 0,295 g bzw. um 1,99 %. Dieser Befund zeigt, daß ein durch Besonnung hervorgerufenes Wasserdefizit bei eintretender Bewölkung in diffusem Licht sehr rasch ausgeglichen wird. An dieser Stelle sei bemerkt, daß sichtbares Welken (Rollen der Blätter) am 22. VII. bei der untersuchten Maispflanze nicht eintrat, daß es sich also hier um Wasserdefizite handelt, welche an der Pflanze unmittelbar überhaupt nicht bemerkbar sind.

Ab 14^{08} fällt das Gewicht zunächst bei einsetzender Besonnung ab, um dann ab 14^{45} trotz weiterer Besonnung weiter anzusteigen. Allerdings fällt dann auch die Temperatur fast stetig bis abends. Der Endteil der Kurve zeigt durch kleine Gewichtsabfälle nur wenig unterbrochenes rasches Ansteigen des Körpergewichtes. Die kleinen Gewichtssenkungen, deren Minima um 16 Uhr und 16^{30} Uhr liegen, gehen kurzen Temperaturerhöhungen parallel.

Aus dem Gesamtverlauf der Kurve vom 22. VII., insbesondere aus dem raschen Anstieg von 13^{45}—14^{08} ergibt sich, daß das Wachstum den ganzen Tag über ziemlich stetig weitergeht und im Tagesverlauf der Kurve bloß durch die Wasserdefizite verdeckt wird. Ein genaues Maß für das Wachstum läßt sich aus dem Gewichtsanstieg,

wie bereits erwähnt, eben bloß aus Morgen- und Abendwerten gewinnen, wenn zu diesen Tageszeiten gleiche volle Wassersättigung des Körpers vorliegt. Diese Art der Wachstumserfassung durch Bestimmung des Gewichtsanstieges ist dadurch besonders wertvoll, daß damit eine absolute Größe für den Gesamtzuwachs erhalten wird, während die bisher während der Entwicklung üblichen Wachstumsmessungen bloß das Längenwachstum oder bloß das Dickenwachstum erfaßten.

Selbstverständlich ging dem Gesamtzuwachs hier auch ein Längenzuwachs parallel. Am 20. VII. betrug die Länge des Sproßteiles, von der Basis bis zu der am weitesten vorgestreckten Blattspitze gemessen, 60 cm, am 22. VII. bereits 68 cm. Das längste Blatt war an diesem Tage ungefähr 50 cm lang und 2 cm breit.

Der Sproßteil blieb bis zum Abbruch des Versuches am 26. VII. an der Waage hängen. An diesem Tage betrug das Sproßgewicht morgens 21,76 g. In der Zeitspanne vom 21. VII. morgens bis 26. VII. morgens war also das Körpergewicht des Sproßteiles in 5 Tagen von 13,70 g auf 21,76 g, also um 8,06 g bzw. 58,8 % gestiegen.

Nach Durchtrennung des ersten Internodiums bei Abbruch des Versuches konnte reichliches Bluten festgestellt werden. Die Erde erwies sich ausgezeichnet durchwurzelt (vgl. Textfig. 2).

Versuch II:
Die Messung von Gewichtsänderungen am Körper einer blühenden Maispflanze.

Zu diesem Versuch wurde eine Zwergmaisrasse, „Nanerotole", verwendet[5]).

Nach Keimung auf Filterpapier dauerte die Behandlung auf der Abhärtungsapparatur vom 23. V. 1932 bis 7. VI. 1932. An diesem Tage erfolgte die Übertragung in Erde, hier jedoch so, daß die auf 25 cm langem Wurzelfaden befindliche Pflanze mit einem Holzstab als Stütze aufrecht kultiviert wurde. Die Pflanzen wurden unter

[5]) Größere Maissorten wären bei den beschränkten Raumverhältnissen, mit denen ich rechnen mußte, zur Wägung unvorteilhaft gewesen. Eine auf Wurzelfaden ausgezeichnet fruchtende Pferdezahnmaispflanze z. B. hatte ebenso wie ihre Kontrolle eine Sproßlänge von 1,90 m bei über 80 cm langen Blättern erreicht.

denselben Raumbedingungen, wie bei Versuch I beschrieben, kultiviert.

Im Zustand der Blüte, also nach Beendigung des Längenwachstums, ließ sich der Sproßteil der auf Wurzelfaden befindlichen Maispflanze nach Losbinden von seiner Stütze störungsfrei in normaler Lage an der Waagschale zur Messung seiner Gewichtsänderungen aufhängen. Der zur Aufhängung dienende Seidenfaden war unterhalb des männlichen Blütenstandes befestigt, der Wurzelfaden beeinträchtigte, nachdem eine geeignete Lage für ihn gefunden war, die Wägegenauigkeit praktisch nicht (vgl. Textfig. 4 und Taf. VI, Fig. 4).

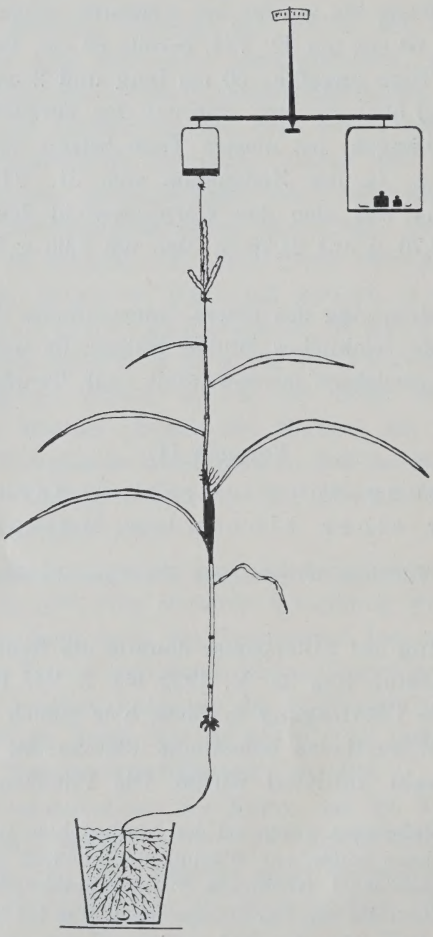


Fig 4. Wägeanordnung zu Versuch II. Schematisch. Nähere Beschreibung im Text.

Am Tage der Wägungen (28. VII. 1932) befand sich die Versuchs-Wurzelfadenpflanze in folgendem Zustande: Das Stäuben der männlichen Blüten war eben beendet. Die Narben der weiblichen Blüte erschienen seit zwei Tagen und wurden seitdem mit dem Pollen einer anderen Maispflanze der Serie künstlich bestäubt. Die Wurzelfadenlänge betrug 25 cm, die Sproßlänge, gemessen von der Basis bis zur Spitze des männlichen Blütenstandes 95 cm. Die Sproßlänge der in ähnlichem Blühzustand befindlichen Kontrolle betrug 94 cm. Die Blätter der Wurzelfadenpflanze waren etwas besser entwickelt als die der Kontrolle. In der folgenden Zusammenstellung bedeutet jeweils die erste Zahl die Länge der Blattspreite, die zweite Zahl ihre größte Breite.

Die fünf grünen Blätter der Wurzelfadenpflanze, mit dem untersten Blatt beginnend:	Die fünf grünen Blätter der Kontrolle mit dem untersten Blatt beginnend:
46 × 4,6 cm	48 × 3,5 cm
50 × 5,3 cm	48,5 × 4,3 cm
42 × 5,3 cm	43,5 × 4,2 cm
33 × 4,4 cm	29,5 × 3 cm
19,5 × 2,6 cm	16,5 × 2,3 cm

Die Pflanzen befanden sich in Töpfen von 16,5 cm Höhe mit einer Fassung von ungefähr 3,5 kg feuchter Erde.

Taf. I, Fig. 2, zeigt Wurzelfadenpflanze und Kontrolle nebeneinander und beweist die gleichlaufende Entwicklung beider Pflanzen.

Am Tage nach den Wägungen zur Messung der Gewichtsänderungen, am 29. VII., wurden Bestimmungen der Gesamttranspiration an Wurzelfadenpflanze und Kontrolle vorgenommen. Die Töpfe wurden sorgfältig mit dreifacher Lage von Guttaperchapapier umhüllt. Die Bestimmungen wurden in der Zeit zwischen 8^{15}—10^{45} vorgenommen. Die Temperatur stieg in dieser Zeitspanne von 19,9° auf 27,8°, die Luftfeuchtigkeit fiel von 100 % auf 30 %. Bis 9^{15} Uhr befanden sich die Pflanzen im Schatten, sodann waren sie fast ununterbrochen stark besonnt. Welken (Rollen) der Blätter trat bei keiner der beiden Pflanzen ein. Die Wasserführung des Bodens im Versuch war optimal. Der Transpirationsverlust der Wurzelfadenpflanze war ebenso wie der der Kontrolle 12 g. Dieser Befund beweist im Einklang mit meinen früheren Untersuchungen (Seite 11 ff.), daß die in ähnlicher Entwicklung

wie die Kontrolle befindliche Wurzelfadenpflanze auch einen ähnlichen Wasserhaushalt aufweist wie die Kontrolle. Dementsprechend sind die an der Wurzelfadenpflanze erhaltenen Resultate bezüglich der Gewichtsänderungen des Sproßteiles vollkommen auch für die normal eingewurzelte Pflanze gültig.

Tabelle 3 enthält die am 28. VII. 1932 von 5—20[15] vorgenommenen Bestimmungen der Gewichtsänderungen des durch Wurzelfaden erdverbundenen Sproßteiles der blühenden Maispflanze, außerdem eine Bestimmung vom 29. VII. 1932, 5 Uhr morgens, und die Temperatur-, Feuchtigkeitsangaben sowie sonstige Beobachtungen. Der 28. VII. war ein vorwiegend sonniger, ziemlich heißer Tag. Sichtbares Welken (Rollen) der Blätter trat jedoch nicht ein.

Taf. IX zeigt die der Tabelle 3 entsprechende Kurve der Gewichtsänderungen des Sproßteiles. Auf der Abszisse finden sich die Tagesstunden (5—20 Uhr auf den 28. VII. bezüglich, dann 5 Uhr auf den 29. VII. bezüglich) eingetragen, auf der Ordinate ist das Körpergewicht des Sproßteiles in Gramm verzeichnet.

Innerhalb von 24 Stunden, vom 27. VII., 5 Uhr morgens, bis 28. VII., 5 Uhr morgens, stieg das Körpergewicht des Sproßteiles von 39,995 g auf 40,78 g, also um 0,785 g bzw. 1,96 %. Diese geringe Gewichtssteigerung ist zweifellos auf das beobachtbare Wachstum des weiblichen Blütenstandes während und nach der Befruchtung zurückzuführen, auf den Beginn der Fruchtbildung, welche eben gleichzeitig mit dem Blühen eintritt. In den nächsten Tagen bzw. Wochen trat bedeutende Verdickung bis zur Stärke des normalen Kolbens ein.

Die erwähnte Gewichtssteigerung ist jedoch in vorliegendem Falle kein ganz genauer Maßstab des Wachstums, da das unterste Blatt an der Spitze und den ihr benachbarten Randteilen fortschreitendes Vertrocknen zeigte. Immerhin gibt die Tatsache der Gewichtsvermehrung innerhalb von 24 Stunden zwischen zwei Morgenmessungen mit Sicherheit das Stattfinden des Wachstums an und die Zahlen bedeuten Näherungswerte für die Größe desselben.

Auf die Vertrocknungserscheinungen ist es vielleicht auch zurückzuführen, daß die Morgen- und Abendwerte für das Körpergewicht am 28. VII. sehr nahe nebeneinander liegen (39,995 g, 40,02 g) und für den Tag das allfällige geringe Wachstum verdeckt

Tabelle 3.

Wägungen des Sproßteiles einer auf Wurzelfaden befindlichen blühenden Maispflanze am 28. Juli 1932.

Zeitangaben: Stunde und Minute	Gewicht des Sproßteiles in Gramm	Temperatur in C (frei hängendes Hg-Thermometer)	Bodentemperatur in C (Hg-Thermometer)	Relative Luftfeuchtigkeit (Haarhygrometer)	Licht- und Bewölkungsverhältnisse (direkte Beobachtungen) Anmerkungen
5	39,995	17,3°	16,8°	100%	Diffuses Licht, ziemlich hell, wenig bewölkt.
5^{30}	40,01	17,3°	16,8°	100%	Wie vor.
6	40,00	17,5°	16,8°	100%	Wie vor.
6^{30}	39,97	17,9°	17,1°	100%	Heller, sonst wie vor.
7	39,94	18,6°	17,5°	100%	Wie vor.
7^{20}	39,945	18,5°	17,7°	100%	Dunkler werdend, allmählich zunehmende Bedeckung.
7^{30}	39,955	18,6°	18,0°	100%	Wie vor.
8	39,97	18,7°	18,2°	100%	Wie vor.
8^{10}	39,955	19,0°	18,3°	100%	Heller, Bedeckung schwächer.
8^{20}	39,93	19,6°	18,5°	100%	Wie vor.
8^{30}	39,90	20,0°	18,7°	96%	Im Freien Sonnenschein mit diffusem Licht abwechselnd, Pflanze im Schatten.
8^{45}	39,84	20,8°	19,3°	85%	Wie vor.
9	39,78	21,5°	19,8°	81%	Wie vor. Sonnenschein in der Umgebung der beschatteten Pflanze.
9^{06}	39,66	22,1°	20,2°	77%	Ab 9 Pflanze besonnt, wechselnde Sonne.
9^{15}	39,58	22,4°	20,7°	75%	Wie vor.
9^{30}	39,505	23,1°	22,0°	68%	Wie vor.
9^{40}	39,555	22,7°	22,5°	70%	Vorwiegend bedeckt.
10	39,66	22,3°	22,7°	76%	Trüb, stark bedeckt.
10^{15}	39,66	22,8°	22,8°	78%	Heller, bedeckt, im Freien leichter Regen.
10^{30}	39,69	22,6°	23,0°	78%	Ausheiterung bei leichtem Regen, zeitweilig kurz Sonne.
10^{45}	39,61	23,4°	23,3°	69%	Wechselnde Sonne.
11	39,70	23,2°	23,5°	73%	Vorwiegend stärker bedeckt, trüb.
11^{15}	39,67	23,5°	23,6°	70%	Wechselnde Sonne.

Zeitangaben: Stunde und Minute	Gewicht des Sproßteiles in Gramm	Temperatur in C (frei hängendes Hg-Thermometer)	Bodentemperatur in C (Hg-Thermometer)	Relative Luftfeuchtigkeit (Haarhygrometer)	Licht- und Bewölkungsverhältnisse (direkte Beobachtungen) Anmerkungen
11^{30}	39,55	25,9°	24,9°	68%	Wie vor.
11^{45}	39,20	26,7°	25,0°	53%	Vorwiegend volle Sonne, nur kurz und selten durch kleine Wolken verdeckt.
11^{50}	39,13	26,6°	25,5°	51%	Wechselnde Sonne
12	39,34	25,3°	25,8°	54%	Ab 11^{52} trüb und bedeckt.
12^{15}	39,28	25,5°	25,1°	55%	Wechselnde Sonne.
12^{30}	38,96	28,8°	27,0°	44%	Fast ununterbrochen volle Sonne.
12^{45}	38,65	30,3°	27,7°	37%	Wie vor.
12^{55}	38,81	27,4°	28,0°	43%	Helles diffuses Licht, Sonne hinter leichten Wolken.
13	38,80	30,0°	28,1°	40%	Vorwiegend volle Sonne.
13^{15}	39,07	25,5°	28,2°	47%	Helles diffuses Licht, Sonne hinter leichten Wolken.
13^{30}	38,77	30,3°	28,7°	41%	Vorwiegend volle Sonne.
13^{45}	38,46	30,2°	29,4°	31%	Wie vor.
14	38,65	28,8°	29,5°	38%	Sonne vorwiegend durch weiße Schleierwolken schwach bedeckt.
14^{10}	38,96	27,5°	29,4°	46%	Ab 14^{05} Sonne hinter dunklen Wolken, trüb.
14^{15}	39,10	27,2°	29,3°	52%	Wie oben. — Kurzer leichter Regen.
14^{27}	39,37	25,3°	29,0°	59%	Vorwiegend bedeckt und trüb, zeitweilig ganz kurze Sonne.
14^{30}	39,32	28,3°	28,9°	57%	Volle Sonne.
14^{45}	38,86	29,5°	29,4°	38%	Volle Sonne.
15	38,72	29,6°	30,0°	39%	Vorwiegend volle Sonne.
15^{15}	39,01	28,8°	30,0°	47%	Vorwiegend diffuses Licht, zunehmende Trübung.
15^{30}	39,30	27,4°	29,7°	56%	Trüb, bedeckt.

Zeitangaben: Stunde und Minute	Gewicht des Sproßteiles in Gramm	Temperatur in C (frei hängendes Hg-Thermometer)	Bodentemperatur in C (Hg-Thermometer)	Relative Luftfeuchtigkeit (Haarhygrometer)	Licht- und Bewölkungsverhältnisse (direkte Beobachtungen) Anmerkungen
15^{45}	39,09	29,6°	29,9°	51%	Vorwiegend volle Sonne.
16	39,13	29,9°	30,2°	50%	Volle Sonne.
16^{15}	39,115	29,7°	30,2°	50%	Wie vor.
16^{30}	39,145	29,3°	30,1°	47%	Wie vor.
16^{45}	39,24	27,9°	29,8°	48%	Wie vor.
17	39,40	26,7°	29,3°	57%	Wechselnde Sonne.
17^{15}	39,55	25,4°	28,8°	64%	Diffuses Licht, hell, leicht bedeckt.
17^{30}	39,585	25,9°	28,2°	69%	Wie vor.
17^{45}	39,585	25,2°	27,6°	68%	Wie vor.
18	39,605	25,2°	27,2°	73%	Im Freien vorwiegend sonnig, Pflanze von nun ab im Schatten.
18^{15}	39,66	24,6°	26,2°	77%	Wie vor.
18^{30}	39,72	24,1°	25,6°	82%	Im Freien sonnig bis leicht bedeckt.
19	39,815	23,0°	24,7°	90%	Wie vor.
19^{30}	39,895	21,9°	23,7°	97%	Dämmerungsbeginn.
20	39,995	21,2°	23,1°	100%	Dämmerung
20^{15}	40,02	20,7°	22,6°	100%	Dunkle Dämmerung.
5	40,78	16,3°	15,8°	100%	29. VII. 1932 morgens: Im Freien sonnig, Pflanze im Schatten

ist. Möglich wäre es immerhin auch, daß trotz ständig optimaler Wasserführung des Bodens und Erreichung von 100 % Luftfeuchtigkeit am Abend volle Wassersättigung des Körpers in Anbetracht der hier sehr starken Wasserdefizite noch nicht erreicht war. Dann dürften eben nur die beiden Morgenwerte, welche sicher bei gleich voller Wassersättigung des Körpers gewonnen sind, zur Orientierung über das Wachstum herangezogen werden.

Ein Vergleich der Kurve mit den Aufzeichnungen der Tabelle 3 zeigt, daß die Gewichtssenkungen und -steigerungen während des Tages im selben Sinne wie bei Versuch I im wesentlichen den Änderungen der Außenfaktoren parallel gehen.

Das Gesamtwasserdefizit, vom absoluten Maximum des Morgens an bis zum absoluten Minimum der Kurve, verschiebt das Körper-

gewicht des Sproßteiles von 40,01 g bis auf 38,46 g, beträgt also 1,55 g bzw. 3,62 % des Körpergewichtes. Verglichen mit dem stärksten Wasser-Teildefizit der wachsenden Maispflanze aus Versuch I, welches am 22. VII. 1932 1,17 % des Körpergewichtes betrug, ist dieses Wasserdefizit von 3,62 % ziemlich hoch. (Unter extremen Bedingungen im Freien sind jedoch, wie ich zeigen konnte, Seite 000, noch höhere Wasserdefizite bei Mais zu verzeichnen: Am 7. Juli 1931 sank das Gewicht des Sproßteiles einer eben vor dem Stäuben stehenden Maispflanze von 33,3 g — allerdings unter sichtbarem Welken bzw. Rollen der Blätter — auf 30,7 g bei voller Besonnung, Wind und einer Mittagstemperatur von 34° C; dies entspricht einem Wasserdefizit von 2,6 g bzw. 7,91 % des Sproßteilkörpergewichtes.)

Besonders bemerkenswert für den Verlauf der Kurve vom 28. VII. 1932 ist der Umstand, daß die sehr starken Wasserdefizite dieses Tages bei eintretender Bedeckung der Sonne sehr rasch ausgeglichen werden. Diesbezüglich sei der starke Gewichtsanstieg nach dem absoluten Minimum der Kurve hervorgehoben, welcher von 13^{45} bis 14^{27} in einem Zuge bei Bedeckung nach voller Sonne, Temperaturabfall und Luftfeuchtigkeitsanstieg erfolgt. In dieser Zeitspanne von 42 Minuten steigt das Körpergewicht bei Ausgleich des Wasserdefizits von 38,46 g auf 39,37 g, also um 0,91 g bzw. 2,37 %.

Das Zentralproblem des Wasserhaushaltes der Pflanze ist die Frage nach ihrem Wasserzustand (Walter 1931). Der Zustand größerer oder geringerer Wassersättigung ist durch das Verhältnis von Wasseraufnahme zu Wasserabgabe, also durch die Wasserbilanz bestimmt.

Nach den umständlichen und unzuverlässigen Bestimmungen von Wasseraufnahme und -abgabe mittels verschiedener wägbarer Potometer, welche außerdem nur mit abgeschnittenen Pflanzenteilen oder bestenfalls kleineren Wasserkulturpflanzen vorgenommen werden können (vgl. Literaturzusammenstellungen bei Burgerstein 1904 und 1920) ging man in neuerer Zeit zur Erfassung des Wasserzustandes mittels osmotischer Bestimmungen über (Ursprung 1925, Walter 1931, Pisek und Cartellieri 1931). Seit Kraus (1881) versuchten besonders Bachmann (1922), Mac Dougal (1924) und

Bartholomew (1926) aus Dickenänderungen von Pflanzenorganen Rückschlüsse auf die Wasserbilanz zu ziehen. Extreme Wasserdefizite konnten durch vergleichende Bestimmung des Wassergehaltes der Blätter besonders bei Wüstenpflanzen und Sukkulenten erfaßt werden (Livingston and Brown 1912, russische Literatur bei Kostytschew 1931, S. 163).

Mit Ausnahme der wenig aufschlußreichen Potometermethoden und der letztgenannten Bestimmungsart des Wassergehaltes von Blättern führen sämtliche erwähnte Methoden nur zu mehr oder minder verläßlichen relativen Werten des durch Bilanzschwankungen entstehenden Wasserdefizits. Der vergleichenden Bestimmung des Wassergehaltes abgeschnittener Blätter haftet wiederum der Mangel an, daß nur extreme Schwankungen erfaßt werden können, die außerhalb einer gewissen Variationsbreite liegen, da verschiedene abgeschnittene Blätter zur Messung benützt werden müssen; außerdem ist gerade das Vorhandensein kurzdauernder Schwankungen mit dieser Methode nicht faßbar.

Die in vorliegender Arbeit eingeführte Methodik der Bestimmung von Gewichtsänderungen des durch Wurzelfaden erdverbundenen Sproßteiles der Pflanze hat vor allen anderen Methoden der Wasserbilanzbestimmung folgende Vorteile: Sie vermittelt fortlaufend durch die empfindliche und genaue Meßmethode der Wägung direkte[6]) und absolute Werte der durch Bilanzänderungen auftretenden Wasserdefizite und ihres Ausgleiches am normal tätigen Pflanzenindividuum.

Die fortlaufende Bestimmung des Gewichtszuwachses war bei dem erdverbundenen Pflanzenindividuum bisher überhaupt nicht möglich[7]). Der Gewichtszuwachs des erdverbunden wachsen-

[6]) Der sehr kleine, wohl meist außerhalb der Wägegenauigkeit liegende Fehler, welcher durch Trockensubstanzzunahme während der kurzdauernden Wasserdefizite entsteht, ist hier vernachlässigt.

[7]) Bei Wasserkulturen wäre früher schon etwa die Möglichkeit der fortlaufenden Bestimmung des Gewichtszuwachses gegeben gewesen, da sich hier die ganze Pflanze samt den Wurzeln ohne Verletzung aus der Nährlösung bei geeigneter Anordnung herausheben ließe. Jedoch wären bei zahlreicheren Messungen durch das notwendige Herausheben der Wurzeln wohl bald Schädigungen zu verzeichnen und außerdem könnte das Anhaften jeweils verschiedener Wassermengen an den Wurzeln zu erheblichen Fehlerquellen führen.

den Sproßteiles der Pflanze gibt — zusammenfassend hervorgehoben — unter folgenden Voraussetzungen einen ausgezeichneten Maßstab für sein Wachstum ab: 1. Die Gewichtsmessungen müssen bei voller Wassersättigung der Pflanze, also am besten früh morgens, allenfalls auch spät abends, bei optimaler Wasserführung des Bodens und 100 % Luftfeuchtigkeit vorgenommen werden. 2. Die Pflanze darf nicht gleichzeitig ihr Gewicht durch Organverlust oder Vertrocknen von Organen ändern.

Die Erfüllung des Punktes 1 liegt in der Hand des Experimentators, nicht aber die des Punktes 2. In vielen Fällen wird aber die Fehlerquelle des Punktes 2 entweder nicht eintreten oder so klein sein, daß sie vernachlässigt werden kann. Bei stärkerem Eintreten der Fehlerquelle wird sie entweder in Rechnung gestellt werden können oder bei Vernachlässigung doch zu Näherungswerten für das Wachstum führen.

Die nunmehr mögliche fortlaufende Bestimmung des Gewichtszuwachses am Individuum als Maßstab seines Wachstums wird geeignet sein, zahlreiche neue Aufschlüsse zu geben. Bei ernährungsphysiologischen Versuchen zum Beispiel war bisher ein Gewichtsmaß des Wachstums bloß durch Erfassung von Anfangs- und Endwert des Pflanzengewichtes gegeben. Nunmehr ist auch die Analyse des Wachstumsweges durch fortlaufende Wägungen am Individuum möglich. Das Studium von reizphysiologischen Vorgängen, zum Beispiel Lichtwachstumsreaktionen, welches bisher leider zum größten Teil auf Keimlingsstadien beschränkt blieb, harrt nunmehr der Benützung verschiedener Entwicklungsstadien der Pflanze. Schließlich ist auch für den Einblick in Gesetzmäßigkeiten des Wachstumsverlaufes selbst neues Tatsachenmaterial zu erhoffen.

Der Grundvorgang des Lebensgeschehens der Pflanze, das Wachstum — die Lebensresultierende der Stoffwechselbilanz — und die Bilanz des Hauptbau- und -betriebsstoffes der Pflanze, des Wassers, spiegeln sich gleichzeitig in den hier erstmalig fortlaufend erfaßten Gewichtsänderungen des erdverbundenen Sproßteiles der Pflanze.

Zusammenfassung.

Vorliegende Arbeit berichtet über die erstmalig gelungene Messung von Gewichtsänderungen am erdverbunden normal tätigen Pflanzenkörper.

Es wurde eine Methodik ausgearbeitet, den normal tätigen Sproßteil der Pflanze bei dauernder, mittels biegsamen „Wurzelfadens" hergestellter Erdverbundenheit fortlaufend zu wägen. Der Sproßteil der Pflanze hängt wachsend, aufnehmend, kurz in voller Lebenstätigkeit, fortlaufend genau wägbar, dauernd an der Waagschale.

Die dauernde Erdverbundenheit wird hiebei durch einen aus dem Boden sich erhebenden voll leitfähigen „Wurzelfaden" (WERNER 1931) zwischen dem im Boden befindlichen Absorptionswurzelsystem und dem Sproßteil hergestellt. Zufolge seiner Biegsamkeit beeinträchtigt der Wurzelfaden bei geeigneter Lage die Wägegenauigkeit nicht.

Zahlreiche Pflanzen verschiedener systematischer Zugehörigkeit zeigen auf einem einzigen Wurzelfaden volles Wachstum und normale Entwicklung bis zur Blüte und Frucht.

Die Wägemethodik wurde in zwei Versuchen mit Maispflanzen angewendet. Im ersten Versuche wurden die Gewichtsänderungen einer kräftig wachsenden, im zweiten Versuch einer blühenden Maispflanze untersucht.

In beiden Versuchen enthüllen sich die durch Wasserdefizite hervorgerufenen wechselvollen Tagesschwankungen des Körpergewichtes ebenso wie die vom Morgen bis zum Abend bzw. von Tag zu Tag bestimmbaren Gewichtsvermehrungen durch Wachstum.

Der Eintritt der Wasserdefizite und ihrer Behebung steht bei den vorliegenden Versuchen wesentlich im Einklang mit den Änderungen der Außenfaktoren. Seltener greifen auch Regulationen der Pflanze selbst bei der Behebung der Wasserdefizite ein.

Die hier eingeführte Methode der Messung von Gewichtsänderungen am Pflanzenkörper ist hinsichtlich genauer Erfaßbarkeit der Wasserbilanz allen bisher bekannten Methoden weit überlegen. Es konnten sogar die geringen Wasserdefizite bei Helligkeitsvermehrung diffusen Lichtes an einem trüben Tage quantitativ erfaßt werden. An vorwiegend sonnigen Tagen konnte die unerwartet rasche Behebung von welkfreien Wasserdefiziten bei kurzer Bewölkung erwiesen, ja sogar Wiederansteigen des Körpergewichtes anläßlich zwei Minuten dauernder Wolkenbedeckung der Sonne verzeichnet werden.

Für die laufende Gewichtsvermehrung der Versuchspflanzen durch Wachstum wurden quantitative Werte erhalten.

Literatur.

Bachmann, F., 1922. Studien über Dickenänderungen von Laubblättern. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 61, S. 372—429. Mit 12 Textfig.

Bartholomew, E. T., 1926. Internal decline of lemons III. Water deficit in lemon fruits caused by excessive leaf evaporation. Amer. Journ. Bot., Vol. 13, S. 102—117. Mit 11 Textfig.

Burgerstein, A., 1904 und 1920. Die Transpiration der Pflanzen I und II. G. Fischer, Jena.

Kostytschew, S., 1931. Lehrbuch der Pflanzenphysiologie, Bd. 2. J. Springer, Berlin.

Kraus, G., 1881. Über die Wasserverteilung in der Pflanze III. Die tägliche Schwellungsperiode der Pflanzen. Abh. naturf. Ges. Halle, Bd. 15.

Livingston, B. E., and W. H. Brown, 1912. Relation of the dailey march of transpiration to variations in the water content of foliage leaves. Botanical Gazette, Vol. 53, S. 309—330.

MacDougal, D. T., 1924. Dendrographic measurements. Carnegie Inst. Washington Publ. 350, S. 1—89.

Pisek, A., und Cartellieri, E., 1931. Zur Kenntnis des Wasserhaushaltes der Pflanzen. I. Sonnenpflanzen. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. 75, S. 195 bis 251. Mit 14 Textfig.

Ursprung, A., 1925. Einige Resultate der neuesten Saugkraftstudien. Flora (Goebel-Festschrift), Bd. 118/19, S. 566—599. Mit 3 Textfig.

Walter, H., 1931. Die Hydratur der Pflanze und ihre physiologisch-ökologische Bedeutung (Untersuchungen über den osmotischen Wert). G. Fischer, Jena.

Werner, O., 1931. Die Maispflanze auf einem trockenharten Wurzelfaden voll wachsend. Biologia generalis, Bd. 7, S. 689—710. Mit 5 Tafeln.

Tafelerklärungen.

Tafel VI.

Fig. 1. Zu Versuch I. Die hängend kultivierte, kräftig wachsende Wurzelfaden-Maispflanze (rechts) mit ihrer ähnlich weit gediehenen voll eingewurzelten Kontrolle (links) (vgl. die schematische Textfig. 2). Phot. 17. VII. 1932. $^1/_{15}$ der nat. Gr.

Fig. 2. Zu Versuch II. Die auf 25 cm langem Wurzelfaden (durch weißen Teilhintergrund hervorgehoben) befindliche blühende Maispflanze (links) mit ihrer ähnlich weit entwickelten voll eingewurzelten Kontrolle (rechts). Phot. 29. VII. 1932. $^1/_{21}$ der nat. Gr.

Fig. 3. Detailaufnahme zu Fig. 2. Der weibliche Blütenstand der Wurzelfadenpflanze. Phot. 29. VII. 1932. $^1/_3$ der nat. Gr.

Fig. 4. Zu Versuch II. Der an der Waagschale hängende, durch Wurzelfaden erdverbundene Sproßteil der blühenden Maispflanze. Von dem, einige kurze, in Luft entwickelte Adventivwurzeln führenden unteren Sproßende zweigt der Wurzelfaden zum Boden ab. Der Wurzelfaden befindet sich in einer die genaue Wägbarkeit des Sproßteiles nicht behindernden Lage. (Vgl. die schematische Textfig. 4.) Phot. 28. VII. 1932.

Tafel VII.

Bilder der Wägeanordnung des Versuches I.

(Vgl. die schematische Textfig. 3.)

Fig. 1. Der an der Waagschale hängende, durch Wurzelfaden erdverbundene Sproßteil der kräftig wachsenden Maispflanze. Phot. 23. VII. 1932.

Fig. 2. Detailaufnahme zu Fig. 1. Vom basalen Ende des mittels Seidenfadens an der Waagschale hängenden Sproßteiles der Pflanze zweigt nach links der Wurzelfaden ab, welcher nach oben gewendet in ein seitliches Loch an der Bodenfläche des auf der oberen Stellage ruhenden nur teilweise sichtbaren Blumentopfes einmündet.

Fig. 3. Der auf der oberen Stellage befindliche Teil der Wägeanordnung: Blumentopf links und Waage rechts.

Tafel VIII.

Links: Die der Tabelle 1 entsprechende Kurve der Gewichtsänderungen des mittels Wurzelfadens erdverbundenen Sproßteiles einer kräftig wachsenden Maispflanze am 21. VII. 1932 (trüber Tag).

Rechts: Dasselbe, Tabelle 2 entsprechend für den 22. VII. 1932 (vorwiegend sonniger Tag).

Auf der Abszisse die Tagesstunden, auf der Ordinate das Körpergewicht in Gramm eingetragen.

Tafel IX.

Die der Tabelle 3 entsprechende Kurve der Gewichtsänderungen des mittels Wurzelfadens erdverbundenen Sproßteiles einer blühenden Maispflanze. 28. VII. 1932 (vorwiegend sonniger Tag), 5 Uhr morgens, bis 29. VII. 1932, 5 Uhr morgens. Auf der Abszisse die Tagesstunden (28. VII., 5—20 Uhr, und 29. VII, 5 Uhr), auf der Ordinate das Körpergewicht in Gramm eingetragen. Da während der Nacht keine fortlaufenden Messungen durchgeführt wurden, ist der Teil der Kurve vom 28. VII., 20^{15} Uhr, bis 29. VII., 5 Uhr, gestrichelt eingezeichnet.

Fortlaufende Körpergewichtsbestimmungen an einer rostkranken und einer gesunden Weizenpflanze.

Von

Othmar Werner und **Hans Steiner**
(Wien).

Mit 8 Textfiguren und 2 Tabellen.

Zur genaueren Beurteilung des Krankheitsverlaufes der Einzelpflanze fehlte bisher das quantitative Mittel der fortlaufenden Körpergewichtsbestimmung am Individuum. Einem von uns gelang es nun vor kurzem, mit neuer Methodik erstmalig die Gewichtsänderungen des erdverbundenen Sproßteiles der Einzelpflanze fortlaufend zu beobachten (WERNER 1933). Damit ist auch die bisher fehlende Methodik gegeben, fortlaufend das Sproßteil-Körpergewicht erkrankter und gesunder Einzelpflanzen vergleichend zu bestimmen. In dieser Beziehung stellt die vorliegende Arbeit einen ersten Versuch dar, durch welchen es gelang, den Krankheitsverlauf einer Pflanze gravimetrisch zu erfassen.

Als Wägepflanzen können den Anforderungen der Methodik entsprechend bloß monokotyle Pflanzen Verwendung finden (vgl. WERNER 1931, S. 6, und 1933, S. 25). Wir wählten eine Weizensorte reiner Linie, den Sommerweizen Carina C. I. 3756. Am 24. IX. 1932 wurden 2 „Abhärtungsapparaturen“ (WERNER 1931, S. 4 ff.) mit je 5 Keimlingen beschickt; jedem dieser Keimlinge

waren vorher die Wurzeln mit Ausnahme der 2—3 cm langen Primärwurzel abgeschnitten worden. Die Behandlung auf der Abhärtungsapparatur dauerte bis 4. X. 1932; an diesem Tage erfolgte die Übertragung der Pflanzen, deren abgehärtete Primärwurzeln nunmehr eine Länge von 15—20 cm erreicht hatten, in Erde.

8 Pflanzen wurden auf „Wurzelfaden" kultiviert (vgl. WERNER

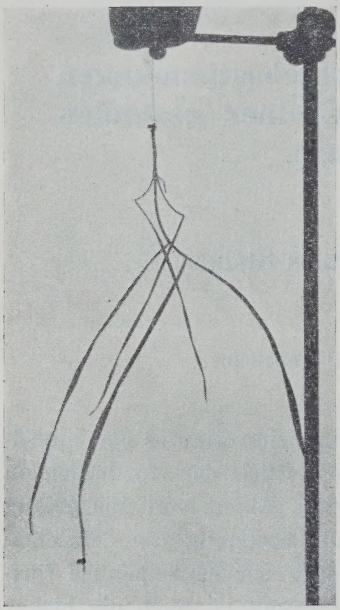


Fig. 1. Die infizierte Pflanze am Tage der Infektion (13. XI. 1932).

Fig. 2. Die Kontrollpflanze am 13. XI. 1932.

1931 und 1933) und 2 Pflanzen zur normalen Einwurzelung gebracht. Von den auf Wurzelfaden gezogenen Pflanzen kamen 3 Stück aufrecht und 5 Stück „hängend" (letztere wesentlich ebenso wie Mais in Hängekultur, vgl. WERNER 1933, S. 27 ff.) in Erdverbindung. Der weitere Entwicklungsverlauf der Pflanzen war insofern ähnlich, als bis zum Versuchsabbruch (19. XII. 1932) von den Wurzelfadenpflanzen (aufrecht und hängend) ebenso wie von den normal eingewurzelten Pflanzen ziemlich gleichlaufend 11 Blätter bei ähnlichen Gesamtgrößenverhältnissen hervorgebracht wurden; keine der Pflanzen zeigte Bestockung; Ähren kamen bis zum Ver-

suchsabbruch nicht zum Vorschein und waren bei zu dieser Zeit erfolgender Winterkultur auch nicht zu erwarten. Die gleichlaufende Entwicklung der Wurzelfadenpflanzen und voll eingewurzelten Pflanzen erlaubt die Verallgemeinerung der mit Wurzelfadenpflanzen in dieser Arbeit gezeitigten Wägeresultate auf normal eingewurzelte Pflanzen.

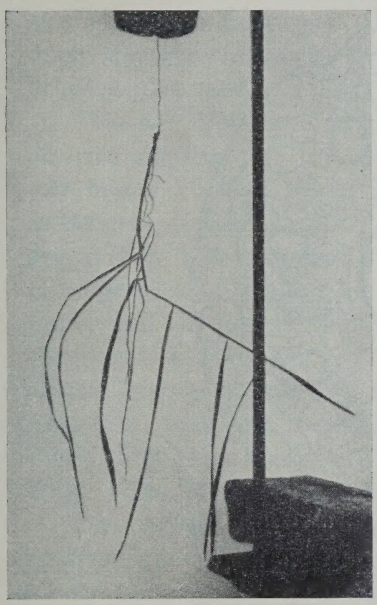


Fig. 3. Die infizierte Pflanze am Tage des Versuchsabbruches (19. XII. 1932).

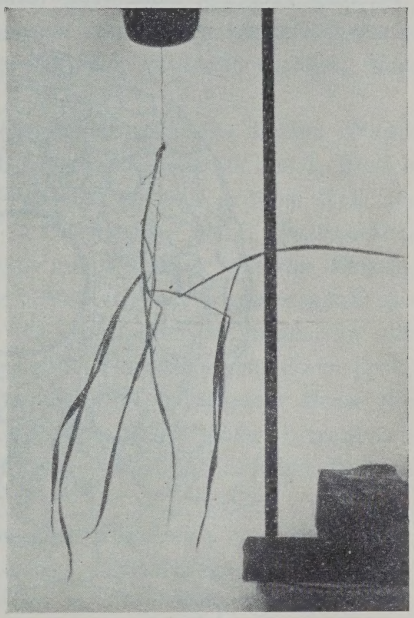


Fig. 4. Die Kontrollpflanze am Tage des Versuchsabbruches (19. XII. 1932).

Zum Wägeversuch wurden zwei sehr ähnlich entwickelte Pflanzen in der für Sproßteil-Körpergewichtsbestimmungen während des Längenwachstums vorteilhaften Hängeanordnung benützt. Die Figuren 1 und 2 zeigen den Entwicklungszustand der beiden Pflanzen am 13. XI. 1932 (dem Tage der Infektion). Auf dem Stativ ruht ein ungefähr 12 cm weiter Blumentopf. Aus einem seitlichen Loch an der unteren Bodenfläche desselben hängt der Wurzelfaden, an welchem sich die Pflanze verkehrt hängend entwickelt. Bei Versuchsabschluß zeigte sich, daß der im Erdinhalt des Blumentopfes befindliche Spitzenteil des Wurzelfadens ein reichliches Absorptions-

wurzelsystem durch gute Verzweigung gebildet hatte. Der in der Luft befindliche Teil des Wurzelfadens wies bei der infizierten Pflanze (Fig. 1) eine Länge von 10 cm, bei der Kontrolle (Fig. 2) von 11 cm auf. Nach Versuchsabschluß geführte Querschnitte durch den Wurzelfaden ließen seine Dicke in 6—7 cm Entfernung von der Basis mit ungefähr 0.28 mm bei jeder der beiden Pflanzen ermitteln. Dieser geringen Dicke entsprechend war der Wurzelfaden ausgezeichnet geeignet, beim Wägeversuch als sehr biegsame, die Wäge-

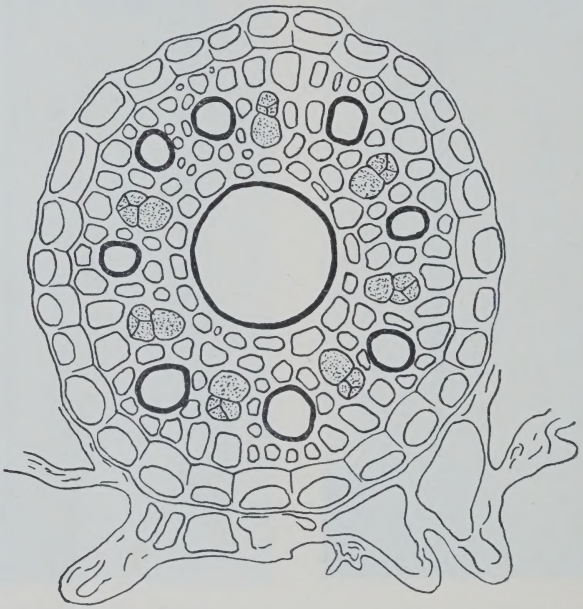


Fig. 5. Querschnitt durch den „Wurzelfaden" der infizierten Pflanze. Von der Wurzelrinde nur ein Teil gezeichnet. Vergr. 360fach.

genauigkeit nicht störende Leitverbindung zwischen Absorptionswurzelsystem und dem dauernd an der Waagschale hängenden Sproß zu dienen. Der innere Bau des Wurzelfadens (Fig. 5) war seiner Gesamtausbildung, Gefäßzahl und -größe sowie Leptomausbildung nach bei der infizierten Pflanze und Kontrolle sehr ähnlich. Das weite Zentralgefäß hatte in beiden Fällen einen Durchmesser von ungefähr 5 Hundertstel Millimeter. Die beiden Wägepflanzen zeigen also auch im Bau des Wurzelfadens, durch welchen der gesamte Wasserstrom für den Sproßteil und der gesamte Assimilatenstrom zur Erdwurzelausbildung geht, weitgehende Parallelität.

Fig. 5 zeigt einen Querschnitt durch den Wurzelfaden der infizierten Pflanze. Die quantitative Ausbildung der Leitungssysteme ist nicht anders als bei einer jungen Primärwurzel (bezüglich des Baues einer solchen, vgl. AVERY 1930, S. 27 ff.). Während die Wurzelrinde geschrumpft ist, zeigen die Endodermiszellen und Parenchymzellen des Zentralzylinders beträchtliche Wandverdickungen. Der Wurzelfaden ist also mechanisch ausgezeichnet gesichert, wodurch es verständlich wird, daß er die zwar geringfügigen, aber oftmaligen Biegungen, die bei den zahlreichen Einzelwägungen durch das Schwingen der Waage mit sich gebracht wurden, ohne Schaden überstand.

Wie die Figuren 1 und 2 zeigen, besaßen die beiden Wägepflanzen am Tage der Infektion 6 Blätter, die Spreite des 1. Blattes war beiden Pflanzen wegen Mehltaubefalles zum größten Teil abgeschnitten worden. Am 13. XI. 1932 wurden die 5 Blattspreiten der in Fig. 1 dargestellten Pflanze mit *Puccinia triticina* ERIKSS. (Braunrost des Weizens) infiziert. Diese Rostart wurde deshalb gewählt, weil sie nach dreijährigen Beobachtungen des einen von uns (STEINER) in Österreich vorherrschend ist — also besonderes praktisches Interesse verdient[1]) — und speziell bei diesem Roste die Ansichten über die Beeinflussung der Nährpflanze verschieden sind[2]); außerdem waren noch gewisse technische Gründe für die Wahl dieser Rostart mitbestimmend.

Das Infektionsmaterial stellte eine Population von zwei Herkünften dar, und zwar Türkenschanze (Versuchsgarten der Hochschule für Bodenkultur) und Angern (Niederösterreich)[3]). Vorversuche hatten ergeben, daß die verwendete Weizensorte — Carina C. I. 3756, S. W. — gegenüber dem Infektionsmaterial anfällig ist: Befallstypus 3 nach der von MAINS und JACKSON (1926) für *Puccinia triticina* ausgearbeiteten fünfteiligen Befallstypenskala. Bis

[1]) Bezüglich der bisherigen Beziehungen zwischen wissenschaftlicher Rostforschung und praktischer Auswertung derselben vgl. KÖCK, 1931.

[2]) Einige exakte Angaben über die Beeinflussung des Endertrages durch Braunrostbefall liegen durch die Versuche von MAINS (1930) vor. Die Endpunktserfassung des Gewichtes war der früher allein mögliche Weg, während in unserer Arbeit das Körpergewicht zwecks Klärung des Krankheitsverlaufes fortlaufend erfaßt wird.

[3]) Eine gesonderte Analyse der Rostherkünfte zur Bestimmung der physiologischen Form wurde nicht vorgenommen. Im Frühjahr 1932 konnte aus der Herkunft Türkenschanze die physiologische Form XX isoliert werden (vgl. SCHEIBE, 1930).

zur Infektion der einen Wägepflanze wurde das Infektionsmaterial auf Dioseger W.-Weizen 777 fortlaufend im Gewächshaus weitervermehrt.

Um neben einem nach den Vorversuchen zu erwartenden qualitativ guten Befall auch ein quantitativ gutes Infektionsergebnis zu erzielen, wurde von dem Infektionsmaterial eine dichte Aufschwemmung in einer 0,1%igen Agarlösung hergestellt (GASSNER und APPEL 1927). Nachdem die zu infizierenden Blätter zwischen

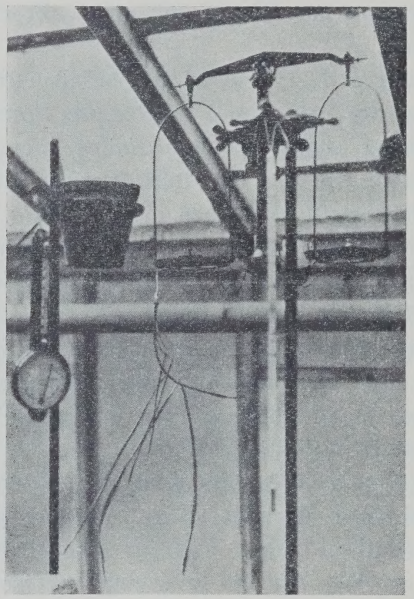


Fig. 6. Die infizierte Pflanze an der Waage. Der von der Sproßbasis zu einem Loch in der unteren Fläche des Blumentopfes verlaufende „Wurzelfaden" kommt hier wegen seiner Feinheit bei dem kleinen Abbildungsmaßstab der Figur nicht zum Ausdruck. (Phot. 19. XI. 1932.)

feuchten Fingern abgerieben waren, wurde die Sporenaufschwemmung mittels Pinsels auf die Blätter aufgetragen. Nach der Infektion kamen sowohl die infizierte, als auch die Kontrollpflanze für 2 Tage in die feuchte Kammer (letztere nur deshalb, um die Parallelität der Kulturbedingungen für die beiden Pflanzen fortgesetzt aufrechtzuerhalten).

Von hier aus gelangten die Pflanzen am 15. XI. 1932 an die Waagen (Fig. 6). Als Schema für die Wägeanordnung kann die von einem von uns für Mais veröffentlichte Wägeanordnung gelten

(Werner 1933, S. 206 und Textfig. 3). Der Wurzelfaden diente als biegsame, die Wägegenauigkeit nicht beeinträchtigende Leitverbindung zwischen Erdwurzeln und Sproßteil. Letzterer hing mittels eines dünnen Bindfadens an der Waagschale, so daß die Sproßlast von dieser getragen wurde, wobei aber der Sproßteil der Pflanze vermittels des sehr biegsamen Wurzelfadens in dauernder Leitverbindung mit dem in der Erde des Blumentopfes befindlichen Absorptionswurzelsystem blieb. Jede der beiden zur Verwendung gelangten Waagen besitzt eine Empfindlichkeit von ± 0,05 g, welche auch trotz Wurzelfadenverbindung aufrecht blieb[4]). Die Sproßteile

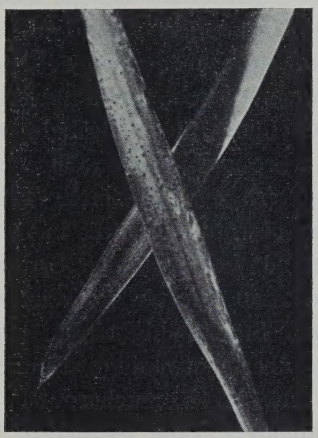


Fig. 7. Das sechste Blatt der infizierten Pflanze, mit Uredopusteln bedeckt, darunter das neuentwickelte, rostfreie siebente Blatt. (24. XI. 1932).

der beiden Pflanzen hingen während der ganzen Versuchsdauer ununterbrochen an den Waagen. Um den Infektionserfolg zu sichern und die Entwicklung der Wirtspflanzen zu fördern, kam eine Zusatzbeleuchtung, und zwar eine 500-Watt-Lampe, zur Anwendung, welche von 8 Uhr abends bis 6 Uhr früh in Betrieb war und in ungefähr 1 m Entfernung von jeder der beiden Pflanzen brannte. Die Temperaturverhältnisse während der Wägedauer sind aus Fig. 8 ersichtlich.

Die ersten Anzeichen der gelungenen Infektion zeigten sich am 18. XI. 1932, also fünf Tage nach der Impfung. Auf allen infizier-

[4]) Durch Anhängen von Gewichten (0,01—0,5 g) an den Sproßteil und nachfolgendes Auswägen überzeugten wir uns, daß die Wägungen auch absolut genau sind.

ten Blättern waren schwache chlorotische Verfärbungen sichtbar, die am 19. XI. bereits die ganzen Blattflächen stark fleckig erscheinen ließen. Hervorbrechende Uredopustel waren auf dem ersten und zweiten Blatt am 20. XI. 1932, auf dem dritten, vierten und fünften Blatt am 21. XI. zu beobachten. Die Verlängerung der Fruktifikationszeit[5]) auf den höher inserierten Blättern, die der eine von uns (STEINER) in gesonderten Untersuchungen, welche demnächst zur Veröffentlichung gelangen, eingehendst studierte, wirkte sich in den folgenden Tagen in Zahl und Größe der Rostsori aus. Die Beurteilung des Infektionserfolges wurde am 24. XI. 1932 vorgenommen. Der qualitative Befund kann nach der bekannten Skala (MAINS and JACKSON 1926) auf allen infizierten Blättern mit dem Befallstypus 3 angegeben werden. Der quantitative Befall wird durch Fig. 7 veranschaulicht und kann nach der von GASSNER (1915, S. 341) aufgestellten Intensitätsskala als stark bezeichnet werden. Zu bemerken wäre noch, daß an den während der Versuchszeit neugebildeten Blättern der infizierten Pflanze sowie an der ganzen Kontrollpflanze, obwohl sich diese in unmittelbarer Nähe der infizierten Pflanze befand, keine einzige Spontaninfektion auftrat; die geringere Üppigkeit der Pusteln in Winterkultur und die dadurch bedingte geringere Stäubefähigkeit, außerdem das seltene, zur Keimung der Sporen aber notwendige Eintreten voller Wasserdampfsättigung der Luft im Versuchsraum, könnten hiefür als Ursachen in Frage kommen. Eine sekundäre Pustelbildung (Auftreten von ringförmig um die Primärinfektionsstelle angeordneten Pusteln), welche bei längerer Kultivierung von rostbefallenen Pflanzen auch von einem von uns (STEINER) gelegentlich beobachtet wurde, konnte trotz der langen Beobachtungszeit (bis zum Vertrocknen der Blätter) nicht wahrgenommen werden.

Von den täglich mindestens zweimal vorgenommenen Wägungen wurden in Tabelle I bloß die Morgenwägungen aufgenommen (mit Ausnahme des 15. XI.). Tabelle II verzeichnet mehrere Wägungen am 23. XI. und zeigt, daß stärkere Körpergewichtssenkungen durch Wasserdefizite nicht eintraten. Bloß nach 20 Uhr 2 Minuten sank das Körpergewicht beider Pflanzen infolge Einschaltung der Nachtbeleuchtung um 0,01 g, um später wieder anzusteigen. Auch

[5]) Unter Fruktifikationszeit ist jene Zeitspanne zu verstehen, die von der Keimung des Parasiten weg bis zum Erscheinen der ersten Fruktifikationen verstreicht (FISCHER und GÄUMANN, 1929, S. 303).

Tabelle I.

Tag und Monat	Sproßteil-Körpergewicht der infizierten Pflanze in Gramm	Sproßteil-Körpergewicht der Kontrollpflanze in Gramm	Temperatur in ° C (freihängendes Hg-Thermometer)	Relative Luftfeuchtigkeit (Haarhygrometer) in Prozenten	Tagesstunde
15. XI.	1,47	1,30	12,7	90	16
16. XI.	1,49	1,32	20,8	72	10
17. XI.	1,54	1,39	18,4	70	915
18. XI.	1,625	1,475	20,7	70	915
19. XI.	1,69	1,53	12,9	81	8
20. XI.	1,78	1,60	16,8	75	9
21. XI.	1,83	1,67	14,4	86	915
22. XI.	1,90	1,75	14,3	95	640
23. XI.	1,95	1,80	17,0	97	9
24. XI.	2,00	1,875	15,4	100	930
25. XI.	2,03	1,93	16,8	94	930
26. XI.	2,055	2,00	20,0	90	10
27. XI.	2,08	2,07	21,0	90	10
28. XI.	2,11	2,115	16,9	100	930
29. XI.	2,14	2,17	19,6	90	840
30. XI.	2,165	2,23	19,8	100	9
1. XII.	2,175	2,28	18,2	100	930
2. XII.	2,125	2,325	22,5	85	920
3. XII.	2,095	2,36	18,6	98	915
4. XII.	2,10	2,375	16,2	100	1030
5. XII.	2,08	2,42	18,9	89	915
6. XII.	2,095	2,50	20,5	86	1040
7. XII.	2,13	2,56	14,6	98	850
8. XII.	2,075	2,56	15,0	82	925
9. XII.	2,07	2,60	15,0	81	915
10. XII.	2,08	2,63	14,2	90	740
11. XII.	2,025	2,62	21,3	60	1030
12. XII.	2,07	2,73	19,2	65	930
13. XII.	2,095	2,77	17,0	73	915
14. XII.	2,09	2,81	18,6	70	915
15. XII.	2,045	2,845	21,0	68	915
16. XII.	2,00	2,81	23,0	59	9
17. XII.	1,99	2,85	14,7	80	830
18. XII.	1,985	2,855	15,6	85	1015
19. XII.	1,975	2,85	11,7	92	830

Tabelle II.

Tag und Monat	Tagesstunde	Sproßteil-Körpergewicht der infizierten Pflanze in Gramm	Sproßteil-Körpergewicht der Kontrollpflanze in Gramm	Temperatur in ° C (freihängendes Hg-Thermometer)	Relative Luftfeuchtigkeit (Haarhygrometer) in Prozenten
23. XI.	9	1,95	1,80	17,0	97
	14^{45}	1,97	1,82	18,4	99
	19^{25}	1,99	1,84	19,5	93
	20^{02}	1,99	1,84	19,7	95
	20^{10}	1,98	1,83	20,5	90
	20^{20}	1,98	1,84	20,7	88
	20^{40}	1,98	1,84	20,9	87
	21	1,99	1,84	20,8	88

an den anderen Tagen waren nur geringe Wasserdefizite zu verzeichnen, bei der im Winter schwachen Sonneneinstrahlung manchmal mittags bis ungefähr 0,01 g. Die in Tabelle I aufgenommenen Morgenwerte des Körpergewichtes sind sämtlich bei ziemlich hoher Luftfeuchtigkeit, fehlender Sonneneinstrahlung[6]) und voller Wassersättigung des Bodens gewonnen; daher ist anzunehmen, daß sämtliche Morgenwägungen bei sehr ähnlicher, fast voller Wassersättigung des Pflanzenkörpers vorgenommen wurden. Die Morgenwerte sind also auch untereinander, ohne daß Rücksicht auf Wasserdefizite genommen werden muß, vergleichbar (s. auch Werner 1933, S. 49 ff.).

Fig. 8 gibt Tabelle I entsprechend die Resultate der Morgenwägungen in graphischer Darstellung wieder. Die obere Kurvendarstellung zeigt die Körpergewichtskurven der infizierten Pflanze (I, stark ausgezogen) und der Kontrolle (K, schwach ausgezogen) für die ganze Wägedauer (15. XI. bis 19. XII. 1932 auf der Abszisse, auf der Ordinate das Körpergewicht in Hundertstel Gramm).

Unterhalb dieser Darstellung befindet sich in Fig. 8 eine Aufzeichnung, in welcher oben der tägliche Gewichtszuwachs der infizierten Pflanze (I) und unten jener der Kontrolle (K) nebeneinandergereiht ist (Zeitabszisse wie oben, Ordinate in beiden Fällen von -5 bis $+10$ Hundertstel Gramm).

[6]) Die Wägungen wurden in einer westseitigen Gewächshausabteilung vorgenommen.

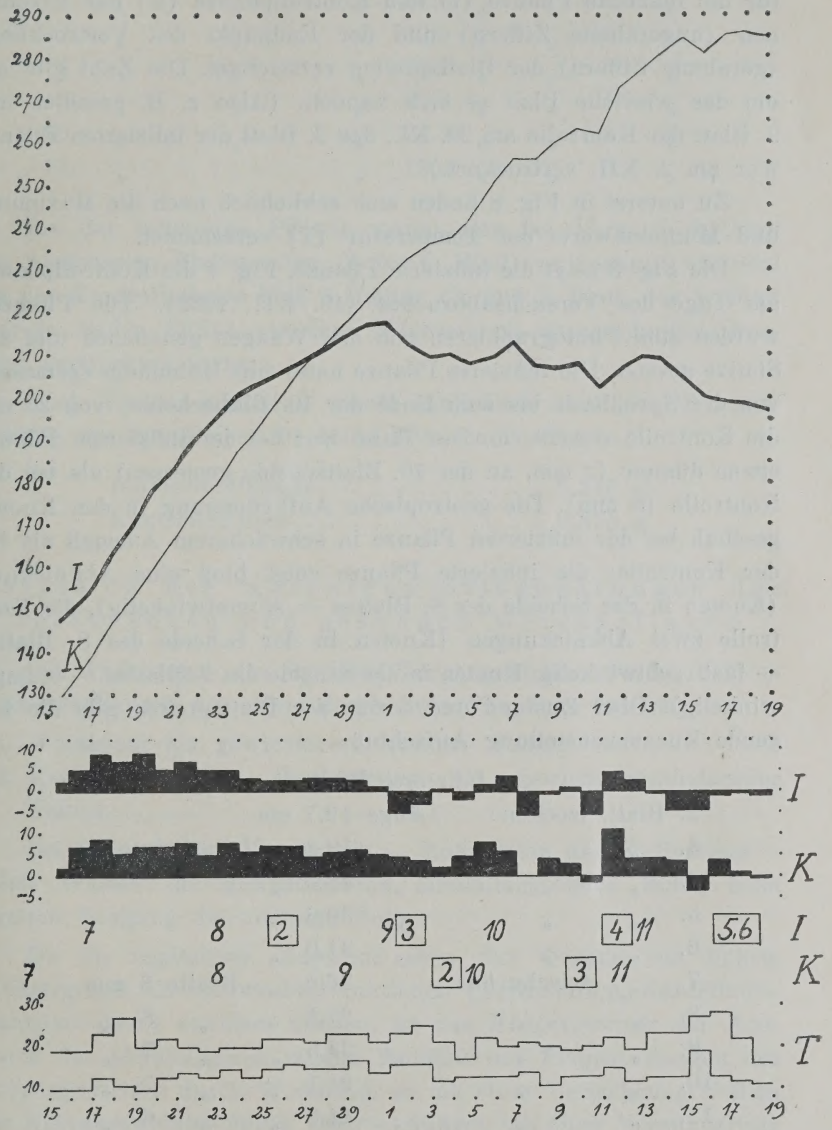


Fig. 8. Graphische Darstellung der Versuchsergebnisse (nähere Erklärung im Text).

Darunter findet sich in Fig. 8, auf dieselbe Zeitabszisse bezogen, für die infizierte Pflanze (I) und Kontrollpflanze (K) das Erscheinen (ungerahmte Ziffern) und der Endpunkt des Vertrocknens (gerahmte Ziffern) der Blattspreiten verzeichnet. Die Zahl gibt an, um das wievielte Blatt es sich handelt. (Also z. B. erschien das 9. Blatt der Kontrolle am 29. XI., das 3. Blatt der infizierten Pflanze war am 2. XII. vertrocknet.)

Zu unterst in Fig. 8 finden sich schließlich noch die Maximum- und Minimumwerte der Temperatur (T) verzeichnet.

Die Fig. 3 zeigt die infizierte Pflanze, Fig. 4 die Kontrollpflanze am Tage des Versuchsabbruches (19. XII. 1932). Die Pflanzen wurden zum Photographieren von den Waagen genommen und auf Stative gesetzt. Die infizierte Pflanze hatte eine Halmlänge (gemessen von der Sproßbasis bis zum Ende der 10. Blattscheide) von 30 cm, die Kontrolle von 29 cm. Der Halm war bei der infizierten Pflanze etwas dünner (2 mm, an der 10. Blattscheide gemessen) als bei der Kontrolle (3 mm). Die geotropische Aufkrümmung in den Knoten geschah bei der infizierten Pflanze in schwächerem Ausmaß als bei der Kontrolle; die infizierte Pflanze zeigt bloß eine Abknickung (Knoten in der Scheide des 8. Blattes — stumpfwinkelig), die Kontrolle zwei Abknickungen (Knoten in der Scheide des 8. Blattes — fast rechtwinkelig, Knoten in der Scheide des 9. Blattes — stumpfwinkelig). Über Zustand und Größe der Blattspreiten gibt die folgende Zusammenstellung Aufschluß:

Infizierte Pflanze:

2.	Blatt,	trocken:	Länge	19,7	cm	
3.	„	„	„	19,8	„	
4.	„	„	„	28,3	„	
5.	„	„	„	30,6	„	
6.	„	„	„	31,0	„	
7.	„	frischgrün:	„	26,0	„	Breite 8 mm
8.	„	„	„	27,5	„	„ 8 „
9.	„	„	„	23,5	„	„ 7 „
10.	„	„	„	21,1	„	„ 7 „
11.	„	„	„	11,2	„	„ 6 „

Kontrollpflanze:

2.	Blatt,	trocken:	Länge	10,5	cm
3.	„	„	„	19,8	„
4.	„	vergilbt:	„	20,7	„

5.	Blatt,	frischgrün:	Länge	30,0	cm	Breite	6	mm
6.	„	„	„	36,0	„	„	6,5	„
7.	„	„	„	30,5	„	„	8	„
8.	„	„	„	27,7	„	„	8	„
9.	„	„	„	27,3	„	„	7,5	„
10.	„	„	„	24,7	„	„	8	„
11.	„	„	„	19,0	„	„	9	„

Bei der infizierten Pflanze waren also bei Versuchsabschluß die 5 infizierten Blattspreiten (2. bis 6. Blatt) vertrocknet, während bei der Kontrollpflanze bloß 2 Blätter (2. und 3. Blatt, das 1. Blatt war in beiden Fällen vor dem Wägeversuch weggeschnitten worden) vertrocknet waren.

Nach Versuchsabschluß wurde schließlich auch das Trockengewicht des Sproßteiles für beide Pflanzen bestimmt:

Infizierte Pflanze . . . . . 0,275 g
Kontrollpflanze . . . . . 0,315 g

Vergleich der Körpergewichtsänderungen der rostkranken und gesunden Weizenpflanze.

Die Änderungen des Sproßteil-Körpergewichtes werden bei den Versuchspflanzen vor allem durch zwei Vorgänge bewirkt:

1. Wachstum als gewichtsvermehrender Faktor.
2. Vertrocknen von Blattspreiten als gewichtsvermindernder Faktor.

Bei diesen beiden Vorgängen — Stoffgewinn und Stoffverlust — spielt Wasser die gewichtsmäßig ausschlaggebende Rolle, beim zweiten Vorgang die alleinige Rolle.

Da im vegetativen Zustande eben nur Organe von hohem Wassergehalt die Stoffwechselfunktionen (Assimilation, Assimilatentransport usw.) ausüben können, ist das Körpergewicht der Ausdruck des physiologisch tätigen Anteiles der Pflanze. Steigen des Körpergewichtes durch Wachstum ist mit einer Vermehrung, Fallen des Körpergewichtes durch Vertrocknungen mit einer Verminderung des physiologisch tätigen Anteiles gleichsinnig. Durch die Feststellung der Körpergewichtsänderungen, welche eine Resultierende zwischen Wachstum und Vertrocknungen sind, wurde also fortlaufend der physiologisch tätige Anteil der Pflanze bestimmt.

Bei der rostkranken Pflanze trat das Welken und Vertrocknen der rostbefallenen Blätter beschleunigt ein (vgl. Fig. 8), der physiologisch tätige Anteil der Pflanze wurde also rascher vermindert als bei der gesunden Kontrollpflanze. Dementsprechend zeigt die Körpergewichtskurve der infizierten Pflanze gegenüber jener der Kontrolle einen starken Abfall.

Der relative Abfall der Körpergewichtskurve der infizierten Pflanze wird in geringerem Maße auch auf eine Verminderung der Wachstumsintensität zurückzuführen sein: Die Größe der nach der Infektion entwickelten Blätter und Halmdicke (vgl. oben) waren bei der infizierten Pflanze ein wenig geringer als bei der Kontrollpflanze. Das Hervorwachsen neuer Blätter war bei der infizierten Pflanze nur wenig (0—3 Tage gegenüber der Kontrollpflanze) verzögert (vgl. Fig. 8). Nebenbei sei hier hervorgehoben, daß die geotropischen Wachstumsreaktionen zur Aufrichtung in den Knoten bei der infizierten Pflanze schwächer waren als bei der Kontrolle (vgl. oben). Das Trockengewicht (vgl. oben) als Indikator für das Gesamtwachstum ist bei der infizierten Pflanze um 12,7 % kleiner als bei der Kontrollpflanze (ein Trockengewichtsvergleich an nur zwei Pflanzen erscheint uns bei dem am Beginn des Wägeversuches sehr ähnlichen Frischgewicht der beiden Pflanzen einer reinen Linie zulässig).

Ein Vergleich der täglichen Körpergewichtszunahme bzw. -abnahme (vgl. in Fig. 8 die Nebeneinanderreihung der Zuwachsgrößen) läßt eine gewisse Parallelität im Verhalten der beiden Pflanzen erkennen (z. B. die stärkere Körpergewichtszunahme beider Pflanzen zwischen 5. bis 7. XII. oder am 12. XII. und der gleichsinnige Körpergewichtsabfall am 8. XII., 11. XII. und 16. XII.). Diese Parallelität steht in keinem Zusammenhang mit den Maximum- und Minimumtemperaturen. Ob die Parallelität, welche kaum eine mehr zufällige zu sein scheint, mit Außenfaktoren oder inneren Ursachen zusammenhängt, konnte in diesem Falle nicht geklärt werden. Im einzelnen sind die täglichen Zunahmewerte der beiden Pflanzen bis ungefähr 24. XI. einander ähnlich, von da ab sind jedoch die täglichen Zunahmewerte bei der infizierten Pflanze kleiner bzw. die täglichen Abnahmewerte bei dieser größer als bei der Kontrollpflanze.

Dieser Umstand spricht sich auch sehr schön im Verlauf der Körpergewichtskurven (Fig. 8, oben) aus: Bis zum 24. XI. gehen

die Kurven der infizierten Pflanze und Kontrollpflanze einander ungefähr parallel, dann aber wird der Kurvenverlauf für die infizierte Pflanze weniger steil, um ab 1. XII. einen mitunter durch Wachstum geringfügig ansteigenden, im allgemeinen schwach fallenden Verlauf zu nehmen. Die Gewichtskurve der Kontrollpflanze steigt hingegen fast ununterbrochen bis nahezu zum Versuchsende. Das Maximum des Körpergewichtes war für die infizierte Pflanze am 1. XII. mit 2,175 g, für die Kontrollpflanze am 18. XII. mit 2,855 g erreicht (weiteres Wachstum bzw. weiterer Gewichtsanstieg war nicht zu erwarten, da das 11. Blatt der letzten Blattanlage der Pflanze entsprach und auf Ährenschieben nach Paralleluntersuchungen nicht zu rechnen war). Der Maximalwert des Körpergewichtes der infizierten Pflanze ist also um 23,8 % niedriger als der Maximalwert der Kontrollpflanze. Der Endwert des Körpergewichtes der infizierten Pflanze am 19. XII. betrug 1,975 g, jener der Kontrollpflanze 2,85 g. Der Endwert des Körpergewichtes der infizierten Pflanze ist also um 30,7 % niedriger als der Endwert der Kontrollpflanze.

In diesem Zusammenhang ist es auffallend, daß das Trockengewicht der infizierten Pflanze nur um 12,7 %[7]) niedriger ist als jenes der Kontrollpflanze, während der Körpergewichtsunterschied im Verlaufe bzw. zu Ende der Rosterkrankung 23,8 % bzw. 30,7 % betrug. Eine Verminderung des physiologisch tätigen Körperanteiles um 23,8 % bzw. 30,7 % wirkte sich also in einer Trockengewichtsverminderung von bloß 12,7 % aus!

Zur Erklärung dieses Umstandes müssen die zeitlichen Beziehungen wahrgenommen werden. Bis zum 1. XII., also bis zu einem Gesamtalter der Pflanzen von 70 Tagen (von der Keimung ab gerechnet) unterschied sich das Körpergewicht der Pflanzen wenig (am 1. XII. war die 70 Tage alte infizierte Pflanze bloß um 4,6 % leichter als die gleich alte Kontrollpflanze — 2,175 g bzw. 2,28 g Körpergewicht). Erst in der restlichen Versuchsdauer von bloß 19 Tagen setzte die starke Körpergewichtsverminderung der infizierten Pflanze ein. Bis zum Alter von 70 Tagen war aber wohl schon der größte Teil der Trockensubstanz quantitativ gleichlaufend bei sehr ähnlichem Körpergewichte der beiden Pflanzen gebildet

[7]) Ein gewisser Anteil an der Trockensubstanzverminderung der infizierten Pflanze wird auch dem Umstand zuzuschreiben sein, daß der Pilz Substanz der Wirtspflanze veratmete.

worden. Die starke Verminderung des Körpergewichtes — also des physiologisch tätigen Anteils — bloß in den letzten 19 Tagen, konnte bei der infizierten Pflanze nur mehr eine geringfügige Produktionsverminderung an Trockensubstanz mit sich bringen.

Von besonderem Interesse ist dabei, daß vom 15. XI. bis 1. XII. nur schwacher Körpergewichtsabfall der infizierten Pflanze, verglichen mit der Kontrolle, stattfand, trotzdem sich während dieser Zeit der Pilz in den infizierten Blättern entwickelte und diese am 21. XI. (vgl. oben) bereits mit Pusteln bedeckt waren. Sehr scharf läßt sich das Parallellaufen des Körpergewichtes der infizierten Pflanze mit jenem der Kontrolle während der Latenzperiode und sogar drei Tage darüber hinaus (bis 24. XI.) fassen (vgl. Fig. 8, oben). Erst nach dem 24. XI. macht sich ein schwacher Körpergewichtsabfall gegenüber der Kontrolle dauernd bemerkbar, welcher erst ab 1. XII. stärker wurde. Dieses späte Eintreten stärkeren Körpergewichtsabfalles zeigt, daß der Pilz zunächst in einem gewichtsmäßig nicht schädigenden Verhältnis zum Blatt steht (hier 11 Tage lang) und ein solches erst verhältnismäßig spät (hier nach 18 Tagen) stark zur Auswirkung kommt.

Im vorliegenden Falle zeigen die fortlaufend durchgeführten Körpergewichtsbestimmungen, daß *Puccinia triticina* Erikss. erst geraume Zeit nach dem Befall stärkere Körpergewichtssenkungen verursacht, so daß also der physiologisch tätige Anteil der Pflanze erst verhältnismäßig spät vermindert wird und dementsprechend die Produktion an Trockensubstanz nur wenig Einbuße erleidet.

Bei der praktischen Auswertung dieses Befundes wird zu bedenken sein, daß der Braunrost (*Puccinia triticina* Erikss.) normal nur die Blätter befällt, während die Ähren in allen ihren Teilen von ihm verschont bleiben[8]). Die praktischen Erfahrungen zeigen, daß

[8]) Dieses Verhalten steht im Gegensatz zu den anderen praktisch wichtigen Rostarten (Gelb- und Schwarzrost), welche unter entsprechenden Bedingungen explosivartig von der ganzen Pflanze Besitz ergreifen und daher unter Ausbildung von Schmacht- und Schrumpfkörnern stärker schädigend wirken (unmittelbare Schädigungen in der Ähre).

bei Braunrostbefall meist keine besonders starke Ertragsverminderung zu verzeichnen ist. Auch der vorliegende, versuchsmäßig geprüfte Einzelfall, welcher allerdings als solcher den natürlichen Infektions- und sonstigen Bedingungen nicht ganz gerecht wurde, zeigt die Produktion an Trockensubstanz durch Braunrostbefall nur wenig beeinträchtigt, da der Ausfall an physiologisch tätigem Anteil der Pflanze eben erst spät erfolgte. Qualitativ steht damit im Einklang, daß das Hervorwachsen neuer gesunder Teile an der rostkranken Pflanze in diesem Versuch nur wenig gehemmt war.

Künftige geplante Versuche werden unter Variation der Bedingungen, Infektionszeit, Versuchspflanzen und Versuchsdauer (auch bis zum Reifen der Körner) zeigen müssen, in welchem Verhältnis die Verminderung des physiologisch tätigen Anteiles der Pflanze und die Produktion zueinander stehen. Der hier eingeschlagene Weg der fortlaufenden Körpergewichtsbestimmung hat sich zur Erreichung dieses Zieles brauchbar erwiesen und soll also weiter begangen werden.

Zusammenfassung.

An einer mit *Puccinia triticina* Erikss. infizierten Weizenpflanze und einer vergleichbaren gesunden Kontrollpflanze derselben reinen Linie wurden fortlaufende Körpergewichtsbestimmungen gleichzeitig durchgeführt.

Dadurch konnte der Krankheitsverlauf der rostbefallenen Pflanze gravimetrisch vergleichend erfaßt werden.

Der eingeschlagene Weg erwies sich als brauchbar, um die Beziehungen zwischen der Verminderung des physiologisch tätigen Anteiles der Pflanze (Körpergewichtssenkung) durch Rostbefall und der Produktion zu erfassen.

Im vorliegenden Falle ergab sich eine erst spät nach der Infektion eintretende stärkere Verminderung des physiologisch tätigen Anteiles der Pflanze und dementsprechend nur eine geringe Verminderung der Produktion an Trockensubstanz.

Literatur.

AVERY, G. S., 1930. Comparative anatomy and morphology of embryos and seedlings of maize, oats and wheat. Botanical Gazette, *89*, S. 1—39.

FISCHER, E., und GÄUMANN, E., 1929. Biologie der pflanzenbewohnenden parasitischen Pilze. G. Fischer, Jena.

GASSNER, G., 1915. Die Getreideroste und ihr Auftreten im subtropischen östlichen Südamerika. Centralbl. f. Bakt., II. Abt., *44*, S. 305—381.

GASSNER, G., und APPEL, G. O., 1927. Untersuchungen über die Infektionsbedingungen der Getreiderostpilze. Arb. Biolog. Reichsanst., *15*, S. 417 bis 436.

KÖCK, G., 1931. Was kann die Praxis von der wissenschaftlichen Getreiderostforschung erwarten? Wiener Landw. Zeitung Nr. 1. Aus einem auf der 11. Konferenz der Pflanzenbauförderungsorgane gehaltenen Referat.

MAINS, E. B., 1930. Effect of leaf rust (*Puccinia triticina* ERIKSS.) on yield of wheat. Journ. Agr. Res. Vol. 40, S. 417—446.

MAINS, E. B., and JACKSON, H. S., 1926. Physiologic spezialisation in the leaf rust of wheat, *Puccinia triticina* ERIKSS. Phytopathology, Vol. 16, S. 89—120.

SCHEIBE, A., 1930. Studien zum Weizenbraunrost, *Puccinia triticina* ERIKSS. III. Arb. Biolog. Reichsanst., *18*, S. 55—82.

STEINER, H., Über das Auftreten und die Verbreitung der Getreiderostarten in Österreich. In Druck.

WERNER, O., 1931. Die Maispflanze auf einem trockenharten Wurzelfaden voll wachsend. Biologia Generalis, *7*, S. 689—710.

— 1933. Wachstum und Wasserbilanz der Pflanze im Spiegel ihrer Gewichtsänderungen. Daselbst, *9*, S. 199—230.

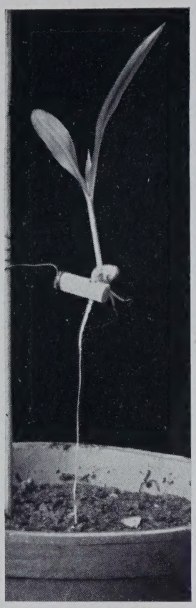


Fig. 1.

Fig. 2.

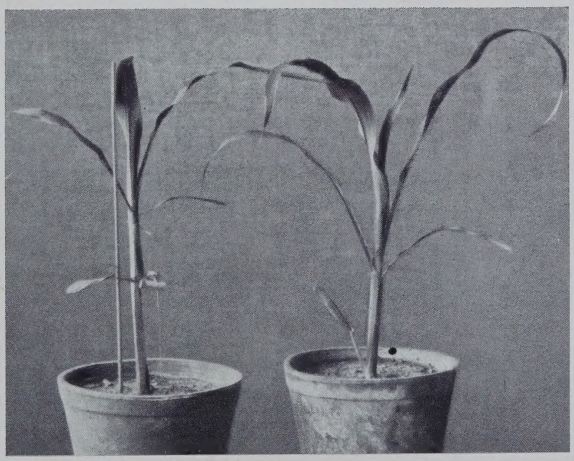


Fig. 3.

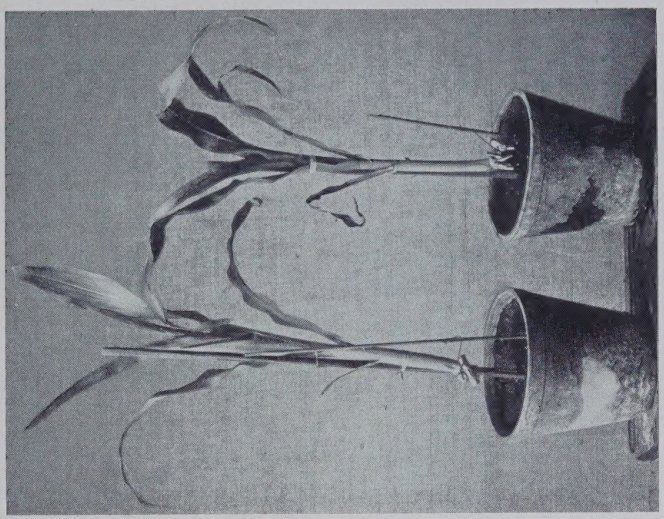


Fig. 5.

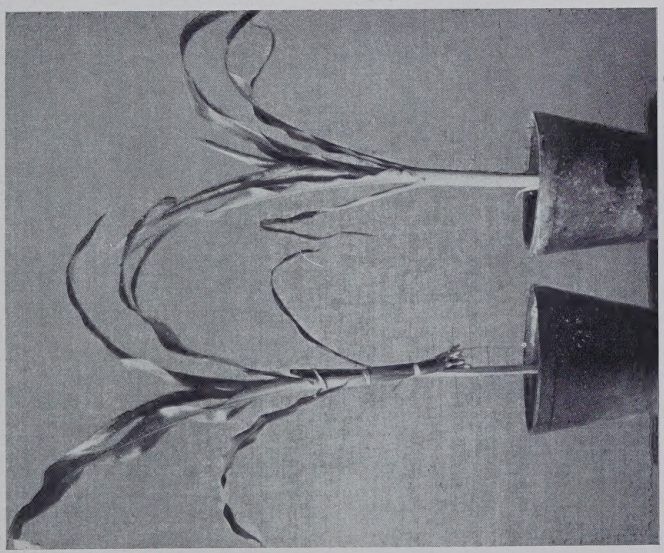
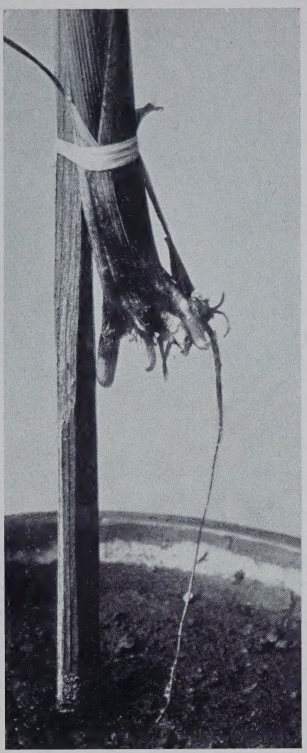


Fig. 4.

O. Werner, Die Maispflanze auf einem trockenharten Wurzelfaden voll wachsend.

Fig. 6.



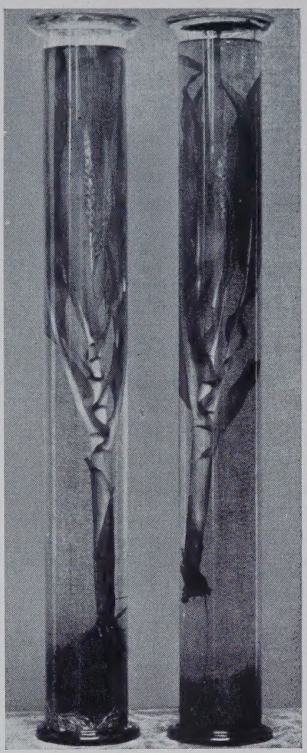


Fig. 7.

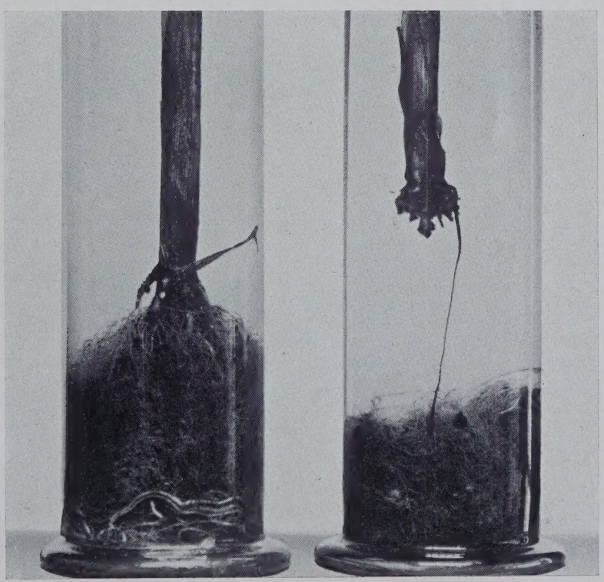


Fig. 8.

Verlag **Emil Haim & Co.**, Wien und Leipzig.

O. Werner, Die Maispflanze auf einem trockenharten Wurzelfaden voll wachsend.

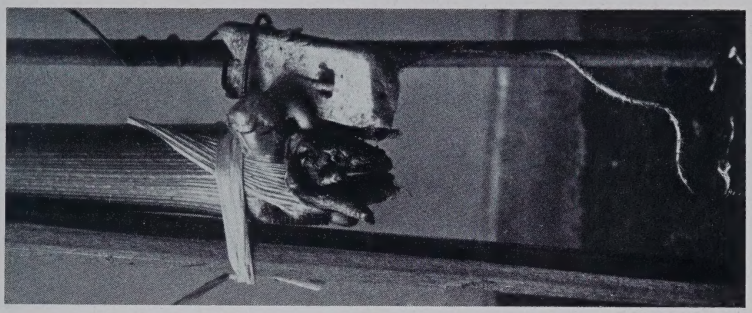


Fig. 9.

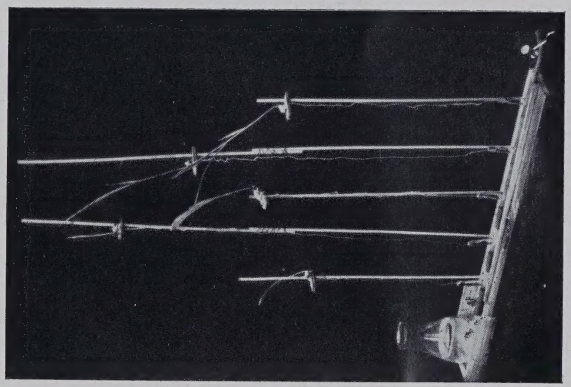


Fig. 11.

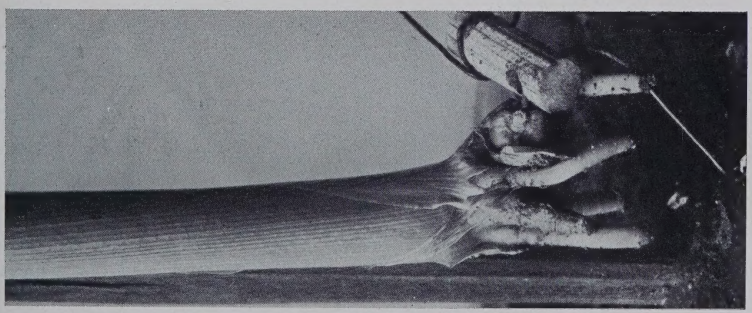


Fig. 10.

Verlag **Emil Haim & Co.**, Wien und Leipzig.

O. Werner, Die Maispflanze auf einem trockenharten Wurzelfaden voll wachsend.

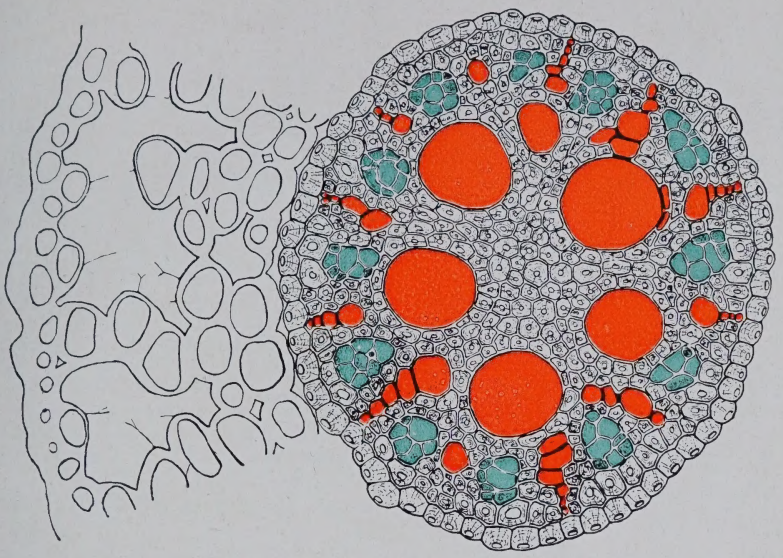


Fig. 12

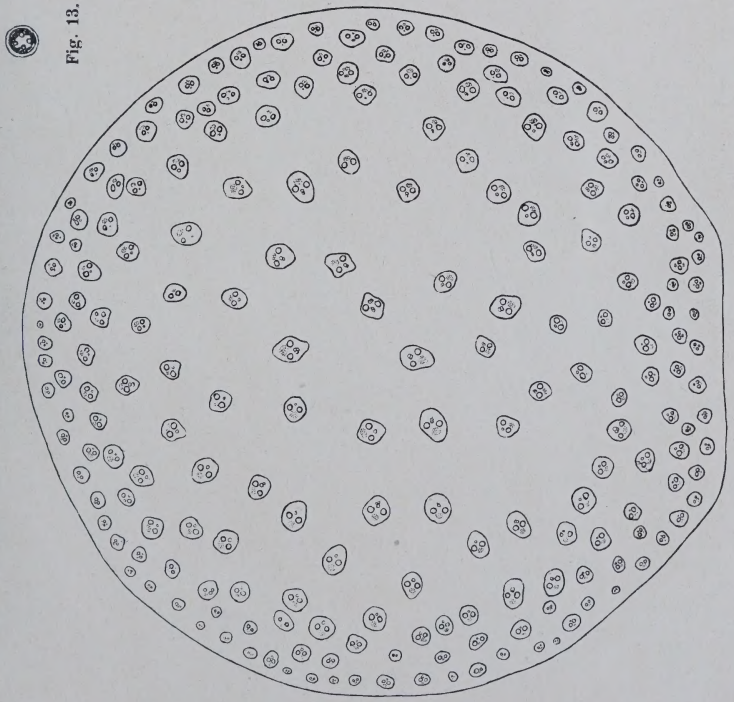


Fig. 13.

Fig. 14.

Verlag **Emil Haim & Co.**, Wien und Leipzig.

Fig. 1.

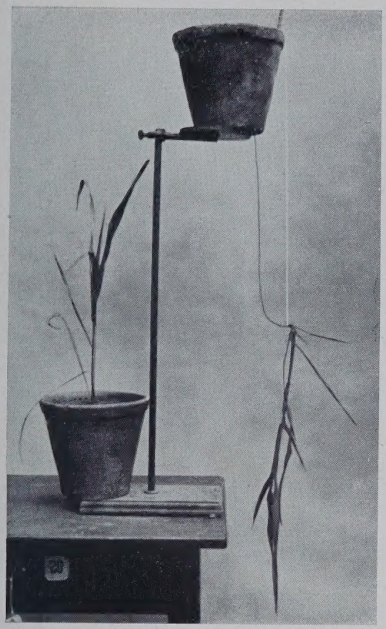


Fig. 2.

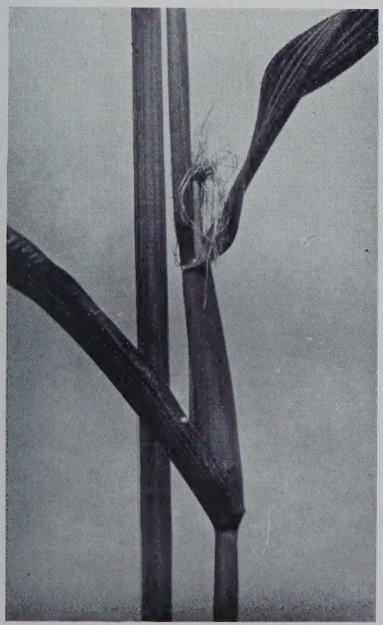


Fig. 3.

Fig. 4.

Verlag **Emil Haim & Co.**, Wien und Leipzig.

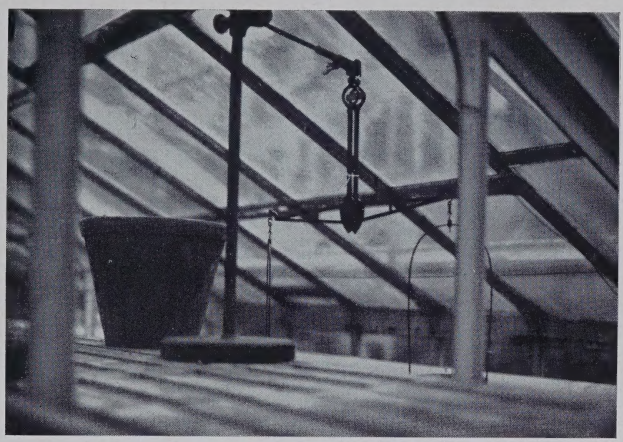


Fig. 3.

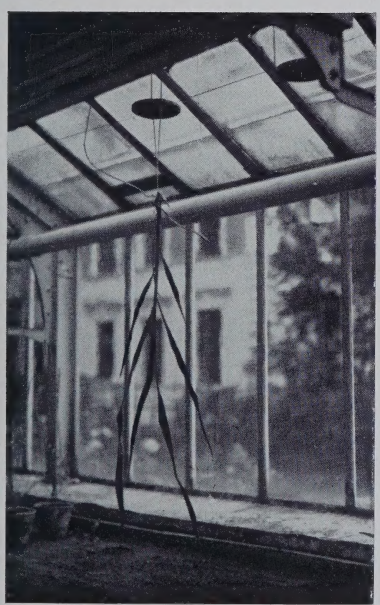


Fig. 1.

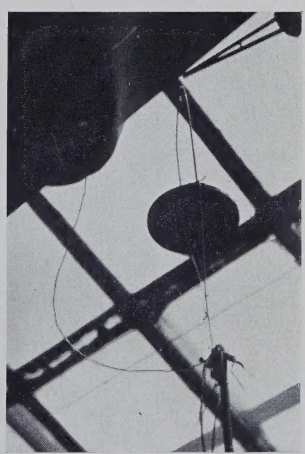
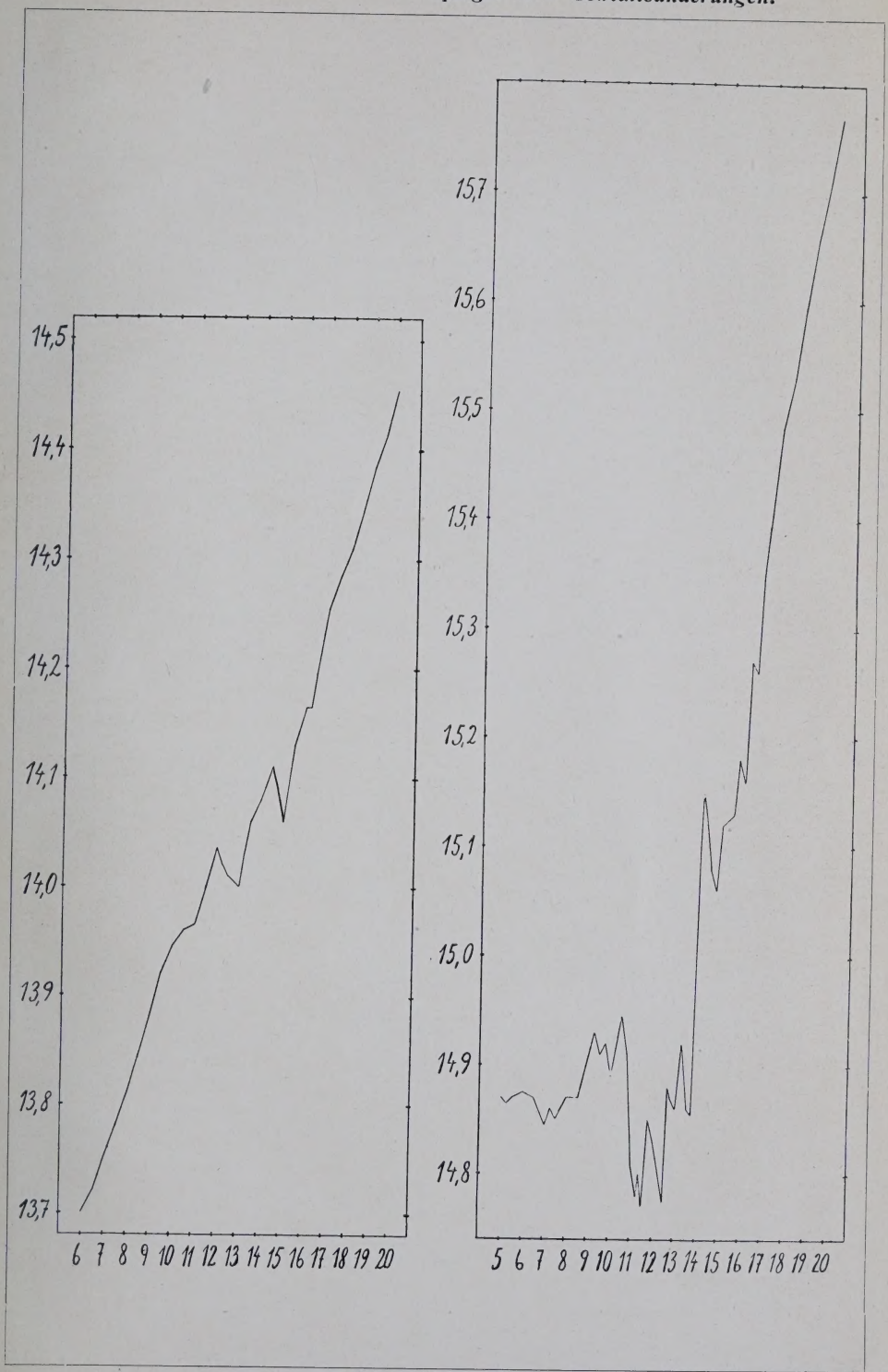
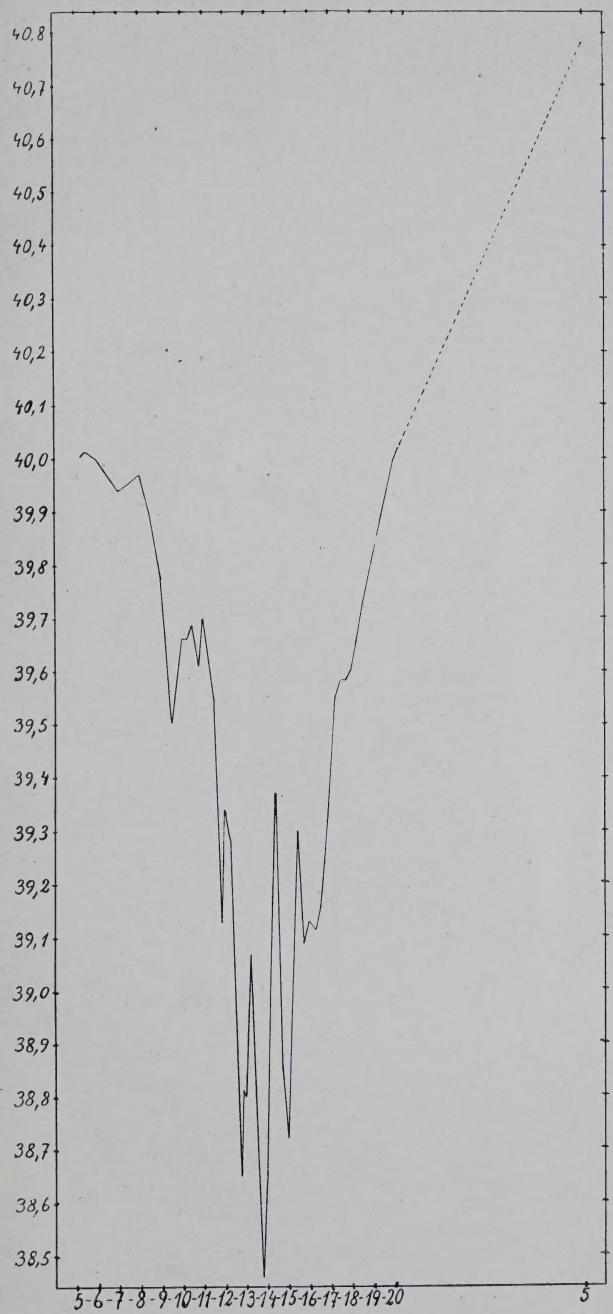


Fig. 2.

Verlag **Emil Haim & Co.,** Wien und Leipzig.



Verlag **Emil Haim & Co.**, Wien und Leipzig.



Verlag **Emil Haim & Co.,** Wien und Leipzig.

VERLAG EMIL HAIM & CO.
WIEN UND LEIPZIG

PALAEOBIOLOGICA

ARCHIV FÜR DIE ERFORSCHUNG
DES LEBENS DER VORZEIT

Offizielles Organ der Palaeobiologischen Gesellschaft in Wien

Herausgegeben von
OTHENIO ABEL
WIEN

unter Mitwirkung von

A. BORISSJAK ⟨Leningrad⟩, K. EHRENBERG ⟨Wien⟩,
F. BARON NOPCSA ⟨Wien⟩, O. SCHMIDTGEN ⟨Mainz⟩,
J. VERSLUYS ⟨Wien⟩, D. M. S. WATSON ⟨London⟩,
J. WEIGELT ⟨Halle a. S.⟩, C. WIMAN ⟨Upsala⟩.

Preis pro Band . . . . . RM 74.–

Für Mitglieder der Palaeobiologischen Gesellschaft in Wien:

Band I–IV . . . . . je RM 40.–
Band V u. ff. . . . . je RM 50.–

DER NATURFREUND
AM MEERESSTRANDE

EINE EINFÜHRUNG IN DAS VERSTÄNDNIS
FÜR DAS MEER

VON

PROF. DR. CARL I. CORI

VORSTAND DES ZOOLOGISCHEN INSTITUTES
DER DEUTSCHEN UNIVERSITÄT IN PRAG

MIT 2 ABBILDUNGEN IM TEXT UND 191 ABBILDUNGEN AUF 1 FARBIGEN
UND 21 SCHWARZEN TAFELN

ZWEITE, NEUBEARBEITETE UND VERMEHRTE AUFLAGE

KL.-8, XII UND 163 SEITEN, KARTONIERT RM 9·—

VERLAG EMIL HAIM & CO.
WIEN, I., MARIA-THERESIEN-STRASSE 10

MIKROCHEMIE

INTERNATIONALES ARCHIV FÜR DEREN GESAMTGEBIET

Redigiert von

W. Böttger, Leipzig, F. Emich, Graz, H. Eppinger, Köln a. Rhein, F. Feigl, Wien, H. Lieb, Graz, H. Molisch, Wien, F. Pregl†, Graz R. Wasicky, Wien

unter Mitwirkung hervorragender Fachleute

MIKROCHEMIE ERSCHEINT IN ZWANGLOSER FOLGE

ETWA 30 DRUCKBOGEN BILDEN EINEN BAND
PREIS DES BANDES XIII . . RM 40·—
Band VII—XII . . . . . je RM 40·—

Pregl-Festschrift (1929) . brosch. RM 24·—, geb. RM 26·—
Emich-Festschrift (1930) . brosch. RM 24·—, geb. RM 26·—
Beiheft zu VIII (1930), 2: Röntgenographische Untersuchungen . . . . . RM 4·—
für Bezieher der MIKROCHEMIE RM 3·—
Frühere Jahrgänge (I—VI) . . . . . je RM 21·—
Sachregister I—VIII (1923—1930) . . . . . RM 4·—

PROSPEKTE STEHEN AUF WUNSCH ZUR VERFÜGUNG

Oct. 30, 1933.
291751
Bot
W
Author Werner, Othmar
Title Die Gewichtsänderungen als Lebenszeiger der Pflanze.
DATE.
NAME OF BORROWER.
University of Toronto
Library
DO NOT
REMOVE
THE
CARD
FROM
THIS
POCKET
Acme Library Card Pocket
Under Pat. "Ref. Index File"
Made by LIBRARY BUREAU